

Rodolfo Assis de Oliveira

**DECOMPOSIÇÃO DE PLANTAS DE COBERTURA E EFEITO
NO RENDIMENTO DA CEBOLA E NA BIODISPONIBILIDADE
DE FÓSFORO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Agroecossistemas

Orientador: Prof. Dr. Jucinei José Comin
Coorientadores: Prof. Dr. Gustavo Brunetto
Prof. Dr. Luciano Colpo Gatiboni

Florianópolis
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Oliveira, Rodolfo Assis de

Decomposição de plantas de cobertura e efeito no rendimento da cebola e na biodisponibilidade de fósforo em sistema de plantio direto/ Rodolfo Assis de Oliveira; orientador, Jucinei

José Comin; coorientadores, Luciano Colpo Gatiboni, Gustavo Brunetto,

Florianópolis, SC, 2015.

101 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas.

Inclui referências

1. Agroecossistemas. 2. manejo agroecológico. 3. ciclagem de nutrientes. 4. fracionamento de fósforo. 5. *Allium cepa* L. I. Comin, Jucinei José . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas. III. Título.

“Decomposição de plantas de cobertura e efeito no rendimento da cebola e na biodisponibilidade de fósforo em sistema de plantio direto”


Por

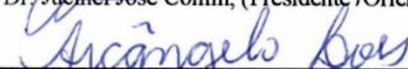
Rodolfo Assis de Oliveira


Dissertação julgada adequada, em 27 de fevereiro de 2015, e aprovada em sua forma final, pelo Orientador e Membros da Banca Examinadora, para obtenção do título de Mestre em Agroecossistemas. Área de Concentração Agroecologia, no Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Centro de Ciências Agrárias/UFSC.

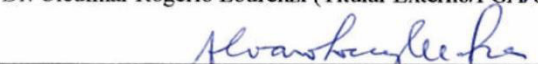

Prof. Dr. Ademir Antonio Cazella (Coordenador do Programa)

Banca Examinadora:

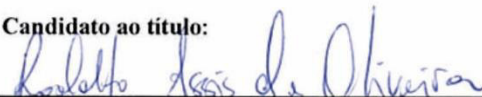

Dr. Juçinei José Comin, (Presidente /Orientador)


Dr. Arcângelo Loss (Titular/PGA/UFSC)


Dr. Cleidimar Rogério Lourenzi (Titular Externo/PGA/UFSC)


Dr. Álvaro Luiz Mafra (Titular Externo/CAV/UDESC)

Candidato ao título:


Rodolfo Assis de Oliveira

Florianópolis, 27 de fevereiro de 2015

Este trabalho é dedicado aos meus pais,
Tarcísio José de Oliveira e Vera Lúcia
Assis Lucena Oliveira.

AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente ao Prof. Jucinei José Comin pelo auxílio e confiança depositada, conselhos e pela oportunidade para a realização do trabalho.

Agradeço a Universidade Federal de Santa Catarina e a Empresa de Pesquisa e Extensão Rural de Santa Catarina pelo apoio e estrutura e logística concedida para a realização das atividades de pesquisa.

Agradeço aos professores Ilyas Siddique, Luiz Renato Dagostini, Ademir Antônio Cazella, Valmir Luiz Stropasolas, Gustavo Brunetto, Arcângelo Loss e Jucinei José Comin pelas aulas ministradas nas disciplinas do mestrado.

Agradeço aos meus coorientadores Prof. Gustavo Brunetto e Prof. Luciano Colpo Gatiboni pelas revisões, sugestões no material gerado e correções dos artigos.

Agradeço aos pesquisadores da Empresa de Pesquisa e Extensão Rural de Santa Catarina, Claudinei Kurtz e Jamil Faiad Abdala e dos técnicos Marcelo Pitz e Cristiano Mora pelo apoio nas atividades de campo e análises laboratoriais e na condução do ensaio.

Agradeço aos servidores Beatriz Manzan Dalla Vecchia, Andréa Burigo Ventura e a Camila Pimentel Martins do Departamento de Engenharia Rural pelo apoio na realização das atividades.

Agradeço a turma de Mestrado em Agroecossistemas 2013.1 pela amizade e ambiente agradável de aprendizagem e trabalho, especialmente a Daline Taís Holz e Hizumi Lua Sarti Seó.

Agradeço aos colegas Alex Basso, Bruno Salvador Oliveira, Vitor Gabriel Ambrosine, Rafael da Rosa Couto, Paula Beatriz Sete e Daniela Schmitz pela companhia nas atividades de campo e no laboratório.

Agradeço aos bolsistas do laboratório de Solos, Tecido e Água do Departamento de Engenharia Rural, Mateus Ademir, Talita Trapp, Jean, Vilmar Müller, Marcel e Barbara Nascimento por acompanhar as análises laboratoriais.

Agradeço a CAPES fonte financiadora da bolsa Demanda Social obtida para a realização do mestrado.

RESUMO

O cultivo de espécies de plantas de cobertura do solo contribui para a ciclagem de nutrientes, podendo melhorar os atributos químicos do solo, especialmente o teor de P e o rendimento da cebola (*Allium cepa* L.) em sistema de plantio direto. O objetivo do trabalho foi avaliar a decomposição e liberação de nutrientes de plantas de cobertura de inverno, seus efeitos no rendimento da cebola, e nos atributos químicos do solo, nas formas de P, em sistema de plantio direto. O experimento foi realizado em área da Estação Experimental da Epagri, em Ituporanga (SC), em um Cambissolo Húmico. Em julho de 2012 e 2013, a parte aérea da vegetação espontânea (VE), aveia preta (AV), centeio (CE), nabo-forrageiro (NF), nabo-forrageiro+aveia preta (NF+AV) e nabo-forrageiro+centeio (NF+CE) foi cortada rente à superfície do solo e adicionada em bolsas de decomposição. As bolsas foram depositadas na superfície do solo e foram coletadas nos tempos 0, 30, 45, 60, 75 e 90 dias após a deposição (DAD). Os resíduos foram secos, quantificados em relação a matéria seca, moídos e submetidos à análise de lignina, celulose, biomassa não estrutural e teores totais de carbono orgânico total do solo (COT), N, P, K, Ca e Mg. Em novembro de 2012 e 2013, a colheita da cebola foi realizada manualmente. Os bulbos foram classificados de acordo com o diâmetro, sendo determinado o número de bulbos com podridão e florescidos, e determinado o rendimento. Antes do transplante e após a colheita da cebola em dezembro de 2012 e 2013, coletou-se solo na camada de 0-10 cm e determinou-se o teor de COT, pH em água; teores trocáveis de Ca, Mg, Al, P disponível e K trocável e calculou-se CTCpH_{7,0} e a saturação por bases (V%). Em agosto de 2013, sessenta dias após a deposição das plantas de cobertura, foram abertas trincheiras e coletadas amostras estratificadas, nos respectivos tratamentos com a deposição de resíduos das espécies de plantas de cobertura, na camada de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-15, 15-20 e 20-40 cm de profundidade. As amostras foram reservadas, preparadas e submetidas ao fracionamento químico de fósforo proposto por Hedley. Os resíduos vegetais de centeio permaneceram por maior tempo na superfície do solo, ao longo do ciclo da cebola, o que aumenta a proteção do solo. Padrão contrário verificou-se para a vegetação espontânea, o que causou a menor permanência dos resíduos vegetais na superfície do solo. O centeio e a aveia-preta proporcionaram menor liberação de N, P, K, Ca e Mg até os 90 DAD dos resíduos na superfície do solo em relação a vegetação espontânea. A adição de resíduos de plantas de cobertura, especialmente da aveia-preta na safra de 2012, contribuiu para o aumento do rendimento

da cebola. Os valores de P mais lábeis, em geral, foram maiores para os tratamentos com VE e CE nas camadas superficiais. As formas de P moderadamente lábeis foram maiores no solo sob VE na camada superficial. Por outro lado, nos tratamentos com plantas de cobertura foram observados os menores teores de P de formas moderadamente lábeis, indicando assim uma melhor distribuição do P no perfil do solo devido à influência do sistema radicular distinto entre estas plantas.

Palavras-chave: manejo agroecológico, ciclagem de nutrientes, fracionamento de fósforo, *Allium cepa* L.

ABSTRACT

The growing of cover crops contributes to nutrient cycling and may improve soil chemical properties especially the phosphorus content in the soil and, yield onion (*Allium cepa* L.). The aim of this study was to evaluate the decomposition of winter cover crops and release of nutrients from them, and their effects on onion yield and on soil chemical properties, in the forms of P, in a no-tillage system. The experiment was carried out in the experimental area of Epagri in Ituporanga, SC, Brazil, in a Cambissolo Húmico (Inceptisol). In July 2012 and 2013, the shoots of weeds (WD), black oats (BO), rye (RY), oilseed radish (OR), oilseed radish+black oats (OR+BO), and oilseed radish+rye (OR+RY) were cut at ground level and added to litter bags. The litter bags were placed on the soil surface and were collected at the times of 0, 30, 45, 60, 75, and 90 days after deposit (DAD). The residues were dried, quantified in relation to dry matter, ground, and then analyzed for lignin, cellulose, non-structural biomass, and total contents of TOC, N, P, K, Ca, and Mg. In november 2012 and 2013, the onion was harvested manually. The bulbs were classified in “calibers” according to diameter, determining the number of rotted and flowering bulbs, and estimating yield per hectare. Before transplanting and after harvest of onion in december 2012 and 2013, soil was collected from the 0-10 cm layer for determination of soil organic matter (SOM); pH in water (1:1 ratio); exchangeable contents of Ca, Mg, Al, available P, and exchangeable K; as well as calculation of cation exchange capacity at pH7.0 (CEC pH7.0) and base saturation (V%). In August 2013, five years after setting up the experiment, sampling pits were opened and stratified samples were taken, from the respective treatments with the depositing of residues from cover crop species, in the 0-2.5, 2.5-5, 5-10, 10-15, 15-20, and 20-40 cm depth layers. The samples were conserved, prepared, and subjected to phosphorus chemical fractionation. The rye plant residues remained for a longer time on the soil surface, over the onion cycle, which increases the protection they provide. A contrasting pattern was seed for weeds, which caused a shorter duration of the plant residues on the soil surface and lower carbon release. Rye and black oats led to greater release of N, P, K, Ca, and Mg up to 90 DAD of the residues on the soil surface. In the no-tillage whit cover crops the high concentration of the P in the soil was observed in the geochemical forms, in contrast the biological forms showed the lower concentration. The P values more labile generally were higher for treatments with WD and RY in the surface layers. The moderately labile P forms were higher in the WD soil under the surface layer. On the other

hand, treatments with cover crops the lower P concentrations of moderately labile forms were observed, thus indicating a better distribution of P in the soil profile due to the influence of different root system of these plants.

Keywords: agroecological no-tillage system, nutrient cycling, phosphorus fractionation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Precipitação e temperatura média mínima mensal para o ano de 2013 (a); Precipitação diárias em 2012 e 2013, e temperatura média diária em 2013 aos, 0, 30, 45, 60, 75 e 90 dias após deposição das bolsas de decomposição, na área experimental (b)..... 32

Figura 2. Percentagem remanescente de matéria seca (MS) (a), carbono orgânico total (COT) (b), celulose (Cel) (c), lignina (Lig) (d) e biomassa não estrutural (Bio) (e), em resíduos da vegetação espontânea (VE), aveia preta (AV), centeio (CE), nabo-forrageiro (NF), nabo-forrageiro+aveia preta (NF+AV) e nabo-forrageiro+centeio (NF+CE), depositas na linha de plantio da cebola. Barras verticais representam erro padrão da média. 40

Figura 3. Percentagem remanescente de nitrogênio (N) (a), fósforo (P) (b), potássio (K) (c), cálcio (Ca) (d) e magnésio (Mg) (e), em resíduos da vegetação espontânea (VE), aveia preta (AV), centeio (CE), nabo-forrageiro (NF), nabo-forrageiro+aveia preta (NF+AV) e nabo-forrageiro+centeio (NF+CE), deposta na linha de plantio da cebola. Barras verticais representam desvio padrão..... 44

Figura 4. Fracionamento de P total do solo em 6 camadas de um solo Cambissolo Húmico cultivado com cebola sob sistema de plantio direto e manejo de plantas de cobertura após cinco anos na região do Vale do Itajaí estado de Santa Catarina sob diferentes sistemas de plantas de cobertura usando método de extração sequencial de Hedley: P inorgânico extraído por resina trocadora de ânions (P_{RTA}), P inorgânico e orgânico extraído por NaHCO_3 0,5 mol L^{-1} (P_{Obic} e P_{Ibic}); P inorgânico e orgânico extraído por NaOH 0,1 mol L^{-1} (P_{Ihid} e P_{Ohid}); P inorgânico extraído por HCl 1,0 mol L^{-1} (P_{IHCl}), e P inorgânico e orgânico extraído por NaOH 0,5 mol L^{-1} (P_{Ihid05} e P_{Ohid05}). 77

Figura 5. Relação entre o componente principal 1 (fator 1) e o componente principal 2 (fator 2), da média das frações de P nas camadas de solo de 0-2,5, 2,5-5,0, 5,0-10, 10-15, 15-20 e 20-40 cm de um solo Cambissolo Húmico cultivado com cebola sob sistema de plantio direto e manejo de plantas de cobertura após cinco anos e em seis camadas na região do Vale do Itajaí estado de Santa Catarina usando método de extração sequencial de Hedley: P inorgânico extraído por resina trocadora de ânions (P_{RTA}), P inorgânico e orgânico extraído por NaHCO_3 0,5 mol L^{-1} (P_{Obic} e P_{Ibic}); P inorgânico e orgânico extraído por NaOH 0,1 mol L^{-1} (P_{Ihid} e P_{Ohid}); P

inorgânico extraído por HCl 1,0 mol L⁻¹ (P_{iHCl}), e P inorgânico e orgânico extraído por NaOH 0,5 mol L⁻¹ (P_{hid05} e P_{ohid05})..... 78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização química inicial dos resíduos da vegetação espontânea (VE), aveia preta (AV), centeio (CE), nabo-forrageiro (NF), nabo-forrageiro+aveia preta (NF+AV) e nabo-forrageiro+centeio (NF+CE) e quantidade adicionadas de matéria seca e nutrientes. 34

Tabela 2. Parâmetros dos valores ajustados ($X=X_0e^{(-kt)}$) aos valores de matéria seca (MS) remanescente, carbono orgânico total (COT), lignina (Lig), celulose (Cel), biomassa não estrutural (Bio); o tempo de meia-vida ($t^{1/2}$) e a constante de decomposição (k) de cada compartimento e valores de R^2 para os resíduos da vegetação espontânea (VE), aveia preta (AV), centeio (CE), nabo-forrageiro (NF), nabo-forrageiro+aveia preta (NF+AV) e nabo-forrageiro+centeio (NF+CE) depositados nas entrelinhas de plantio da cebola. 39

Tabela 3. Parâmetros dos valores ajustados ($X=X_0e^{(-kt)}$) aos valores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio; o tempo de meia-vida ($t^{1/2}$) e a constante de decomposição (k) de cada compartimento e valores de R^2 para os resíduos da vegetação espontânea (VE), aveia preta (AV), centeio (CE), nabo-forrageiro (NF), nabo-forrageiro+aveia preta (NF+AV) e nabo-forrageiro+centeio (NF+CE) depositados na linha de plantio da cebola. 43

Tabela 4. Relação C/N da matéria seca remanescente dos resíduos da vegetação espontânea (VE), aveia preta (AV), centeio (CE), nabo-forrageiro (NF), nabo-forrageiro+aveia preta (NF+AV) e nabo-forrageiro+centeio (NF+CE) depositados na entrelinha de plantio da cebola. 46

Tabela 5. Produção de bulbos de cebola por classe comercial, bulbos com podridão/florescidos, e produção total nas safras de 2012 e 2013 sob manejo de plantas de cobertura com resíduos da vegetação espontânea (VE), aveia preta (AV), centeio (CE), nabo-forrageiro (NF), nabo-forrageiro+aveia preta (NF+AV) e nabo-forrageiro+centeio (NF+CE) depositados na linha de plantio da cebola. 48

Tabela 6. Teores de carbono orgânico total (COT), valores de pH em água, teores de cálcio trocável (Ca), magnésio trocável (Mg), alumínio trocável (Al), potássio trocável (K), fósforo disponível (P) e saturação da CTC_{pH7,0} e por bases (V) na camada de 0-10 cm, num Cambissolo

Húmico, submetido ao cultivo de cebola com resíduos da vegetação espontânea (VE), aveia preta (AV), centeio (CE), nabo-forrageiro (NF), nabo-forrageiro+aveia preta (NF+AV) e nabo-forrageiro+centeio (NF+CE) depositados na linha de plantio da cebola. 50

Tabela 7. Caracterização química da cama de frango no ano de 2011.. 65

Tabela 8. Atributos químicos de um Cambissolo Húmico cultivado com cebola sob sistema de plantio direto e manejo de plantas de cobertura após cinco anos e em seis camadas na região do Vale do Itajaí estado de Santa Catarina. Continuação...

..... 68

Tabela 8. Atributos químicos de um Cambissolo Húmico cultivado com cebola sob sistema de plantio direto e manejo de plantas de cobertura após cinco anos e em seis camadas na região do Vale do Itajaí estado de Santa Catarina. Conclusão.

..... 69

Tabela 9. Frações de P inorgânico extraídos por resina trocadora de ânions (P_{iRTA}) e $NaHCO_3$ (P_{obic}) e P orgânico extraído por $NaHCO_3$ (P_{obic}), em um Cambissolo Húmico cultivado com cebola sob sistema de plantio direto e manejo de plantas de cobertura após cinco anos e em seis camadas na região do Vale do Itajaí estado de Santa Catarina. 72

Tabela 10. Fósforo inorgânico e orgânico extraído por $NaOH$ $0,1\text{ mol L}^{-1}$ (P_{hid} e P_{ohid}) e $NaOH$ $0,5\text{ mol L}^{-1}$ (P_{hid05} e P_{ohid05}) em um Cambissolo Húmico cultivado com cebola sob sistema de plantio direto e manejo de plantas de cobertura após cinco anos e em seis camadas na região do Vale do Itajaí estado de Santa Catarina. 74

Tabela 11. Fósforo inorgânico extraído por HCl $1,0\text{ mol L}^{-1}$ (P_{iHCl}) e frações de P residual ($P_{residual}$) em um Cambissolo Húmico cultivado com cebola sob sistema de plantio direto e manejo de plantas de cobertura após cinco anos e em seis camadas na região do Vale do Itajaí estado de Santa Catarina. 75

Tabela 12. Fósforo geoquímico ($P_{geoquímico}$) e fósforo biológico ($P_{biológico}$) em um Cambissolo húmico cultivado com cebola sob sistema de plantio direto e manejo de plantas de cobertura após cinco anos e em seis camadas na região do Vale do Itajaí estado de Santa Catarina. 76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$(\text{NH}_4)\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ – molibidato de amônio tetrahidratado;
Bio – biomassa não estrutural;
C/N – relação carbono nitrogênio;
C/P – relação carbono fósforo;
Lig/N – relação lignina nitrogênio;
Cel/Lig – relação celulose lignina;
 $\text{C}_4\text{H}_4\text{KO}_7\text{Sb} \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ – Potássio antimônio tartrato;
 $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ – ácido ascórbico;
Ca – cálcio;
Cel – celulose;
cmolc – centimol de carga;
COT – carbono orgânico total;
CTC – capacidade de troca de cátions;
DAD – dias após deposição das bolsas de decomposição;
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária;
EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina;
 Fe_d e Fe_o – ferro extraído por ditionito-citrato-bicarbonato e ferro extraído por oxalato de amônio;
g – gramas;
 H_2O_2 – peróxido de hidrogênio;
 H_2SO_4 – ácido sulfúrico;
HCl – ácido clorídrico;
k – constante de decomposição;
K – potássio;
kg – kilogramas;
Lig – lignina;
MeOH – metanol;
Mg – magnésio;
mg – miligramas.
 MgCl_2 – cloreto de magnésio;
MO – matéria orgânica;
MS – matéria seca;
MV – matéria verde;
N – nitrogênio;
NaCl – cloreto de sódio;
 NaHCO_3 – bicarbonato de sódio;
NaOH – hidróxido de sódio;
P – fósforo;

pH – potencial hidrogeniônico;
Pi – fósforo inorgânico;
Po – fósforo orgânico;
RTA – resina trocadora de ânions;
SMP – índice SMP;
SPC – sistema de plantio convencional;
SPD – sistema de plantio direto;
 $t^{1/2}$ – tempo de meia vida;
UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina;
V – saturação por bases;
Xo – quantidade inicial adicionada de matéria seca e nutriente remanescente.

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO	21
2 INTRODUÇÃO GERAL.....	22
3 HIPÓTESES.....	24
4 OBJETIVOS.....	25
4.1 OBJETIVO GERAL.....	25
4.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	25
5 ESTUDO I - DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES DE PLANTAS DE COBERTURA E SEUS EFEITOS NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E NO RENDIMENTO DA CEBOLA.....	26
5.1 INTRODUÇÃO.....	28
5.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	30
5.2.1 Localização da área experimental e tratamentos.....	30
5.2.2 Coleta da parte aérea das espécies de plantas de cobertura, preparo e deposição das bolsas de decomposição.....	33
5.2.3 Coleta das bolsas de decomposição e análises dos resíduos vegetais .	34
5.2.4 Rendimento da cebola	35
5.2.5 Atributos químicos do solo.....	35
5.2.6 Análise estatística.....	36
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
5.3.1 Decomposição dos resíduos e liberação de nutrientes	36
5.3.2 Rendimento de cebola	47
5.3.3 Atributos químicos do solo.....	48
5.4 CONCLUSÕES.....	51
5.5 LITERATURA CITADA	52
6 ESTUDO II – BIODISPONIBILIDADE DAS FORMAS DE FÓSFORO EM UM CAMBISSOLO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO DE CEBOLA	60
6.1 INTRODUÇÃO.....	62
6.2 MATERIAL E MÉTODOS	63

6.2.1	Localização da área experimental e tratamentos	63
6.2.2	Coleta do solo, análise de atributos químicos e fracionamento químico de fósforo	65
6.2.3	Análise estatística	67
6.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
6.3.1	ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO	67
6.3.2	Fracionamento de fósforo no solo	70
6.4	CONCLUSÕES	79
6.5	LITERATURA CITADA	80
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	91
9	APÊNDICES.....	92

1 APRESENTAÇÃO

A dissertação foi desenvolvida no contexto de um experimento de longa duração em um sistema de plantio direto de cebola implantado na Estação Experimental de Ituporanga (EEITU), região do Alto Vale do Itajaí, desde o ano de 2009. Essa região pertence ao estado de Santa Catarina, situado no Sul do Brasil. A EEITU desenvolve pesquisas com a cultura da cebola desde sua fundação em 22 de maio de 1984 e atualmente também desenvolve tecnologias que visam um baixo impacto ambiental nos sistemas de produção de hortaliças na região.

Esse trabalho com o sistema de plantio direto (SPD) de cebola foi implantado em uma área com histórico de cultivo convencional de cebola por 30 anos. Entre 1995 e 2009 foi adotado o SPD com rotação de culturas e o cultivo de plantas de cobertura. A partir de 2009 implantou-se o experimento em sistema agroecológico com as plantas de cobertura, sendo elas a aveia, centeio e nabo forrageiro, solteiras e consorciadas, a fim de avaliar a eficiência dessas espécies no manejo de plantas espontâneas e seus efeitos nos atributos químicos, biológicos e físicos do solo, assim como o rendimento da cebola.

Durante a condução dos trabalhos científicos foi estabelecida uma parceria entre a UFSC e a EPGRI possibilitando o desenvolvimento de trabalhos de dissertação gerando conhecimento científico na temática (VILANOVA, 2011; VARGAS, 2012; SOUZA, 2012; MARTINS, 2013).

2 INTRODUÇÃO GERAL

A cebola (*Allium cepa* L.) se destaca entre as principais hortaliças cultivadas do Brasil, especialmente na região Sul do país, que contribui em torno de 32% da produção brasileira na safra de 2009/2010 (EPAGRI, 2013).

O sistema de cultivo de cebola predominante tem sido o sistema de preparo convencional (SPC), onde utilizam-se práticas de aração e gradagens para o preparo do solo, o que promove a pulverização, a compactação e a perda de solo, água e redução dos teores de matéria orgânica do solo (PANACHUKI et al., 2011). Nesse sistema também são utilizadas elevadas cargas de agrotóxicos e adubos minerais que podem promover a contaminação de águas superficiais e subsuperficiais e o acúmulo de nutrientes nas áreas de cultivo.

Mais recentemente, o SPC vem sendo substituído pelo sistema de semeadura definitiva (SSD), que também utiliza o revolvimento restrito à linha do plantio, porém, ainda dependente do uso de agrotóxicos e fertilizantes minerais e sem o uso de plantas de cobertura, que dificultam a emergência das plântulas de cebola.

Como alternativa para redução das perdas de solo tem sido recomendada a adoção do sistema de plantio direto (SPD). Entretanto, o SPD comumente adotado depende da utilização massiva de herbicidas, principalmente para o controle de plantas espontâneas antes do plantio e durante o cultivo da cebola.

Até o momento existem poucas ações em SPD que busquem o manejo das plantas de cobertura sem o uso de herbicidas (KIELING, 2007; LANA, 2007; BITTENCOURT, 2008, BONJORN, 2009). No caso do cultivo de cebola, os estudos também são escassos (VILANOVA, 2011; SOUZA, 2012). Nesse sentido, o SPD da cebola, sofreu algumas adaptações, dentre as mais importantes a implantação de práticas de manejo de solo como a utilização de plantas de cobertura visando a eliminação do uso herbicidas para o controle das plantas espontâneas.

Dentre as vantagens da utilização de SPD cita-se o incremento da biomassa e carbono no solo, redução do escoamento superficial do solo, aumento da cobertura do solo por resíduos culturais, aumento da disponibilidade de fósforo (P) às culturas em formas lábeis (WHITE; WEIL, 2011) e contribuir com a liberação e a ciclagem de nutrientes dos resíduos vegetais (TEIXEIRA et al., 2011; 2012; FERREIRA et al., 2014).

A velocidade e a quantidade de nutrientes liberados durante a decomposição de resíduos de plantas de cobertura dependem de fatores

como a temperatura, umidade, pH, teores de oxigênio e nutrientes no solo e da composição química dos resíduos, como teores de celulose, lignina, biomassa não estrutural e das relações, C/N, lignina/N e lignina/P (TRINSOUTROT et al., 2000; GIACOMINI et al., 2003; TAGLIAVINI et al., 2007; CORNWELL et al., 2008; GUNNARSSON et al., 2008; CARVALHO et al., 2011), o que permitirá maior ou menor decomposição destes resíduos.

Durante a decomposição dos resíduos o P pode ser liberado para o solo. Além disso, o incremento de matéria orgânica pode influenciar diretamente no teor de P disponível. Assim, têm-se condições edáficas favoráveis para a exploração dos nutrientes que nestas condições estarão mais disponíveis para as plantas do que adsorvidos aos colóides minerais ou imobilizados pela biomassa microbiana. Geralmente, resíduos com altas concentrações de P podem se decompor mais rapidamente e liberar maiores quantidades de P dos resíduos do que resíduos que apresentam baixas concentrações de P (ALAMGIR et al., 2012).

Os mecanismos relacionados à absorção de formas de P foram estudados (NOVAIS; SMYTH, 1999) como meio de melhorar a fertilidade do solo, especialmente quando os fertilizantes fosfatados solúveis não são acessíveis aos agricultores. Nesse sentido, para uma alternativa a este problema White e Weil (2011), estudaram plantas da família Brassicaceae, como o rabanete (*Raphanus sativus* L. var. Longipinnatus) que apresentaram a capacidade de solubilizar formas recalcitrantes de P no solo através da alteração do pH da rizosfera (MARCHNER et al., 2007; GRINSTED et al., 1982; HEDLEY et al., 1982; HINSIGER; GILKES, 1997). Contudo, a quantidade de P disponibilizada e solúvel é insuficiente para atender a demanda nutricional das culturas.

3 HIPÓTESES

- a) As diferentes espécies de plantas de cobertura de inverno cultivadas sob sistema de plantio direto, em função da sua composição, podem liberar diferentes quantidade de nutrientes e promover efeitos diferenciados no rendimento da cebola e nos atributos químicos do solo.
- b) A deposição da matéria seca de diferentes espécies de plantas de cobertura na cultura da cebola por um longo período no sistema plantio direto pode alterar as formas de P no solo, principalmente as formas mais lábeis.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito da decomposição e liberação de nutrientes de resíduos de plantas de cobertura de inverno no rendimento de cebola e nos atributos químicos do solo, especialmente nas formas de P, em sistema de plantio direto.

4.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- a) Realizar a caracterização química (nutrientes, biomassa estrutural e não estrutural) da parte aérea de diferentes espécies de plantas de cobertura de inverno;
- b) Determinar os efeitos de diferentes espécies de plantas de cobertura de inverno nos atributos químicos do solo;
- c) Avaliar as alterações nas formas de P no solo com diferentes espécies de plantas de cobertura de inverno;
- d) Determinar o rendimento da cebola em sistema de plantio direto.

5 ESTUDO I - DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES DE PLANTAS DE COBERTURA E SEUS EFEITOS NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E NO RENDIMENTO DA CEBOLA

RESUMO

O cultivo de espécies de plantas de cobertura do solo contribui para a ciclagem de nutrientes, podendo melhorar os atributos químicos do solo e, consequentemente, o rendimento da cebola (*Allium cepa* L.). O trabalho objetivou avaliar a decomposição e a liberação de nutrientes de resíduos de plantas de cobertura do solo e seus efeitos sobre os atributos químicos do solo e o rendimento da cebola, em sistema de plantio direto. O experimento foi realizado na estação experimental da EPAGRI, em Ituporanga (SC), em um Cambissolo Húmico. Em julho de 2013, a parte aérea da vegetação espontânea (VE), aveia preta (AV), centeio (CE), nabo-forrageiro (NF), nabo forrageiro+aveia preta (NF+AV) e nabo forrageiro+centeio (NF+CE) foi cortada rente à superfície do solo e adicionada em bolsas de decomposição. As bolsas foram depositadas na superfície do solo e foram coletadas nos tempos 0, 30, 45, 60, 75 e 90 dias após a deposição (DAD). Os resíduos foram secos, quantificados em relação à matéria seca, moídos e submetidos à análise de lignina, celulose, biomassa não estrutural e teores totais de carbono orgânico total (COT), N, P, K, Ca e Mg. Em novembro de 2012 e 2013, a colheita da cebola foi realizada manualmente. Os bulbos foram classificados de acordo com o diâmetro, sendo determinado o número de bulbos com podridão e florescidos, e avaliado o rendimento. Antes do transplante e após a colheita da cebola em dezembro de 2012 e 2013, coletou-se solo na camada de 0-10 cm e determinou-se o teor de COT, pH em água; teores trocáveis de Ca, Mg, Al, P disponível e K trocável e calculou-se a capacidade de troca de cátions a pH_{7,0} (CTCpH_{7,0}) e a saturação por bases (V%). Os resíduos vegetais de centeio permaneceram por maior tempo na superfície do solo, com maior tempo de meia vida ($t^{1/2}$ = 90 dias) ao longo do ciclo da cebola, o que aumenta sua proteção. Padrão contrário verificou-se para a vegetação espontânea, com menor $t^{1/2}$ (30 dias), o que causou a menor permanência dos resíduos vegetais na superfície do solo e maior liberação de carbono. O centeio e a aveia-preta proporcionaram menor liberação percentual de N, P, K, Ca e Mg até os 90 DAD dos resíduos na superfície do solo. O cultivo e a adição de matéria seca de resíduos de plantas de cobertura contribuiu para o maior rendimento da cebola.

Termos para indexação: adubação verde, ciclagem de nutrientes, sistema plantio direto de hortaliças, manejo do solo.

COVER CROP DECOMPOSITION AND RELEASE OF NUTRIENTS AND THEIR EFFECTS ON THE SOIL CHEMICAL PROPERTIES AND ON ONION YIELD

SUMMARY

The growing of cover crops contributes to nutrient cycling and may improve soil chemical properties and, consequently, onion (*Allium cepa* L.) yield. The aim of this study was to evaluate the decomposition of cover crops and nutrient release from cover crop residues and their effects on soil chemical properties and onion yield in a no-tillage system. The experiment was carried out in the experimental area of Epagri, Ituporanga (SC), Brazil, using an Inceptisol. The planting of cover crops was conducted in April. In July 2012 and 2013, the shoots of weeds (WD), black oats (BO), rye (RY), radish (RD), radish+black oats (RD+BO) and radish+rye (RD+RY) were cut at ground level and placed in litter bags. The litter bags were deposited on the soil surface and were collected at the times of 0, 30, 45, 60, 75, and 90 days after deposition (DAD). The residues were dried, quantified in relation to dry matter, ground, and subjected to analysis of lignin, cellulose, non-structural biomass, and total contents of TOC, N, P, K, Ca and Mg. In November 2012 and 2013, onion was harvested manually. The bulbs were classified according to diameter, determining the number of rotted and flowering bulbs, and estimating yield per hectare. Before transplanting and after harvest of onion in December 2012 and 2013, soil was collected from the 0-10 cm layer for chemical analysis. The plant residues of RY remained for a longer time on the soil surface, with a greater half-life ($t^{1/2}$ = 84 days) over the onion cycle and an opposite pattern was seen for WD, with a lower $t^{1/2}$ (30 days), which led to the shortest time of the plant residues on the soil surface. The RY and the BO had the greatest release of N, P, K, Ca, and Mg up to 90 DAD of residues. The addition of cover crop residues, especially BO in the 2012 crop season, contributed to onion yield. The plant residues of BO changed the soil levels of pH, Ca and Mg.

Index terms: green manure, nutrient cycling, no-till system.

5.1 INTRODUÇÃO

A cebola (*Allium cepa* L.) na região Sul do Brasil, principalmente no Vale do Itajaí, normalmente é cultivada em sistema de preparo convencional (SPC), no qual as perdas de solo, água e nutrientes são potencializadas pela erosão hídrica (CASTRO et al., 2011). Mas, desde o início da década de 1980, tem-se estimulado a adoção do sistema plantio direto (SPD), no qual espécies de plantas de cobertura do solo, principalmente gramíneas, tais como aveia preta (*Avena sativa* L.) e centeio (*Secale cereale* L.), e algumas dicotiledôneas, especialmente, o nabo-forrageiro (*Raphanus sativus*), são cultivadas solteiras ou consorciadas no outono/inverno (DONEDA et al., 2012; SOUZA et al., 2013).

No SPD os resíduos das plantas de cobertura são depositados nas entrelinhas de plantio, principalmente, no final do inverno e início da primavera. Dependendo da qualidade e da quantidade dos resíduos vegetais produzidos haverá maior permanência na superfície do solo (TEIXEIRA et al., 2011, 2012). No caso para o cultivo da cebola, dentre as vantagens da utilização de plantas de cobertura de solo, tem-se a maior proteção da superfície do solo contra o impacto das gotas da chuva, o que reduz a erosão hídrica, além de suprimir a incidência de plantas espontâneas e aumentar o armazenamento de água no perfil do solo (ARAKI et al., 2009; CASTRO et al., 2011; CAMPIGLIA et al., 2011; CARDOSO et al., 2012, 2013; MORAES et al., 2013; CHEN et al., 2014). Parte dos nutrientes absorvidos pelas raízes e incorporados no tecido das plantas de cobertura do solo são mineralizados durante a sua decomposição, assim reduzindo a sua lixiviação no perfil do solo, com consequente aumento do tempo de permanência desses elementos no solo, o que pode favorecer a absorção dos mesmos pelo sistema radicular da cebola. Durante a decomposição dos resíduos vegetais, o carbono orgânico total (COT) é utilizado como fonte de energia pela população microbiana, sendo parte liberado na forma de CO₂ para a atmosfera (OVALLE et al., 2010; BRUNETTO et al., 2011, 2014). Porém, o nitrogênio (N), o fósforo (P), o cálcio (Ca) e o magnésio (Mg) são mineralizados e o potássio (K) solubilizado e, eventualmente, retornam para o solo, incrementando a sua disponibilidade, podendo os mesmos serem absorvidos durante o ciclo da cebola (SOUZA et al., 2013; MARTINS et al., 2014).

No entanto, a decomposição dos resíduos vegetais e, por consequência, a liberação de nutrientes depende das condições

edafoclimáticas, tais como temperatura, umidade, valores de pH, teores de oxigênio e nutrientes no solo; assim como da composição química da fitomassa, a exemplo dos teores de celulose, lignina, biomassa não estrutural e das relações C/N, lignina/N e lignina/P (TRINSOUTROT et al., 2000; GIACOMINI et al., 2003; TAGLIAVINI et al., 2007; CORNWELL et al., 2008; GUNNARSSON et al., 2008; CARVALHO et al., 2011; TEIXEIRA et al., 2011, 2012). Em geral, os resíduos vegetais das plantas de cobertura com maior teor de lignina e valores de relação C/N, lignina/N e lignina/P, como aqueles da aveia preta e do centeio, são decompostos e liberam os nutrientes para o solo de forma mais lenta e gradual (GIACOMINI et al., 2003), comparativamente àqueles resíduos com menor teor de lignina, consequentemente, maior teor de celulose, menor valor da relação C/N, lignina/N e lignina/P, a exemplo do nabo-forrageiro, que apresenta decomposição e liberação de nutrientes mais rápidas (CRUSCIOL et al., 2005). Assim, com o consórcio do nabo-forrageiro com uma gramínea, como a aveia preta ou o centeio, se espera obter valores intermediários desses parâmetros, o que poderá ajudar a manter os resíduos vegetais em quantidades adequadas na superfície do solo, além da liberação gradual dos nutrientes (GIACOMINI et al., 2003).

No SPD, as plantas de cobertura, solteiras ou consorciadas, podem absorver nutrientes das camadas profundas do solo (0-20 e 20-40cm) e acumular nas raízes ou na parte aérea, e quando são depositadas na superfície do solo, por meio de sua decomposição, alteram os teores de nutrientes das camadas superficiais ao longo do ciclo da próxima cultura, como verificado para a cebola (SOUZA et al., 2013). Esta hortaliça, que devido ao seu reduzido número de folhas e porte baixo, possui um menor índice de área foliar, favorece a erosão superficial, sendo o uso de espécies de plantas de cobertura essencial para que o SPD seja iniciado de forma eficiente. Isso porque com a deposição de resíduos de plantas de cobertura sobre a superfície do solo se favorece a supressão de plantas espontâneas que competem por água e nutrientes, e a quantidade inicial de matéria seca adicionada ao se decompor libera nutrientes e carbono gradativamente, podendo contribuir com o aumento do teor de matéria orgânica do solo, e consequentemente com o aumento do rendimento da cebola. Em alguns casos, as aplicações de fertilizantes podem ser reduzidas, como relatado no Sul do Brasil (SOUZA et al., 2013; MARTINS et al., 2014). No entanto, especialmente no Vale do Itajaí, em Santa Catarina, são incipientes os estudos sobre a dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos de plantas de cobertura do solo em SPD e o impacto sobre os atributos químicos do solo e o rendimento da cebola.

O trabalho objetivou avaliar a decomposição e a liberação de nutrientes de resíduos de plantas de cobertura do solo e seus efeitos sobre os atributos químicos do solo e o rendimento de cebola em sistema plantio direto.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Localização da área experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido no período de julho de 2012 a novembro de 2013, na área experimental da Empresa de Pesquisa e Extensão Agropecuária do estado de Santa Catarina (Epagri), em Ituporanga, região do Alto Vale do Itajaí, SC (27°22'S, 49°35'W e altitude de 475 m). O clima da região, segundo a classificação de Köppen é o subtropical úmido (Cfa) (KOTTEK et al., 2006), com temperatura média anual de 17,6°C e precipitação anual média de 1.400 mm. Os dados climáticos obtidos durante a condução do experimento são apresentados na Figura 1.

O solo foi classificado como Cambissolo Húmico (EMBRAPA, 2013) e, na instalação, na camada de 0-10 cm do solo, apresentava as seguintes características: 380 g kg⁻¹ de argila, 40 g kg⁻¹ de matéria orgânica, pH em água 6,0; P disponível 26,6 mg kg⁻¹; K disponível 145,2 mg kg⁻¹ (extraídos por Mehlich-1); Al trocável 0,0 cmolc kg⁻¹, Ca trocável 7,2 cmolc kg⁻¹ e Mg trocável 3,4 cmolc kg⁻¹ (extraídos por KCl 1 mol L⁻¹); capacidade de troca de cátions (CTCpH_{7,0}) 14,32 cmolc kg⁻¹, saturação da CTCpH_{7,0} por bases (V) 76% e saturação da CTC_{efetiva} por alumínio (m) 34 %.

O experimento foi instalado em uma área com histórico de cultivo de cebola com o sistema de preparo convencional do solo (SPC) com aração e gradagens e sucessão com culturas anuais por 30 anos, até 1996. Em seguida foi implantado o sistema de cultivo mínimo de cebola com rotação de culturas e plantas de cobertura (aveia (*Avena strigosa*), mucuna (*Mucuna aterima*), milheto (*Pennisetum glaucum*), crotalaria (*Crotalaria juncea*), ervilhaca (*Vicia sativa*)) até 2007, quando foi interrompido o SPD para plantar a batata-doce, permanecendo até 2009. Em abril de 2009, a vegetação espontânea da área foi dessecada e, em seguida, foi aplicado calcário e incorporado, para elevar o pH em água até 6,0. Posteriormente, em abril de 2009, foram implantados os tratamentos: testemunha com vegetação espontânea (VE) composta predominantemente por grama-estrela (*Cynodum* sp.), língua de vaca (*Rumex obtusifolius*), orelha de urso (*Stachys arvensis*), caruru (*Amaranthus lividus*), tiririca (*Cyperus* spp.),

azedinha (*Oxalis corniculada*), picão preto (*Bidens pilosa*) e picão branco (*Galinsoga parviflora*); *Avena sativa* Schreb. (120 kg ha⁻¹ de sementes) (AV); *Secale cereale* L. (120 kg ha⁻¹ de sementes) (CE); *Raphanus sativus* L. (20 kg ha⁻¹ de sementes) (NF); *Raphanus sativus* L. (10 kg ha⁻¹ de sementes) + *Secale cereale* L. (60 kg ha⁻¹ de sementes) (NF+CE); e *Raphanus sativus* L. (10 kg ha⁻¹ de sementes) + *Avena sativa* Schreb. (60 kg ha⁻¹ de sementes) (NF+AV). As plantas de cobertura foram semeadas a lanço sobre a superfície do solo, no início do mês de abril, em todos os anos desde a implantação do experimento em 2009. A quantidade de sementes utilizadas por hectare foram os valores mais elevados da recomendação proposta por MONEGAT (1991) e acrescidos de 50% deste valor. No verão de todos os anos, todas as parcelas foram semeadas com mucuna preta (*Mucuna aterrima*) que permaneceu sem manejo no verão para redução do banco de sementes de plantas espontâneas. A mucuna preta foi acamada antes da semeadura das espécies de plantas de cobertura de inverno.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com oito repetições. Cada unidade experimental (parcela) possuía 5 x 5 m (25 m²).

Em julho de todos os anos, todas as espécies de inverno foram acamadas com o auxílio de um rolo-faca (modelo RF240, MBO LTDA) para a deposição dos resíduos sobre a superfície do solo. Em seguida, foram aplicados 42 kg de P ha⁻¹, na forma de fosfato natural de Gafsa, 104 kg de K ha⁻¹, 160 kg de N ha⁻¹ e 39 kg de P ha⁻¹, na forma de cama de frango sobre a superfície do solo; sendo metade aplicada no transplante das mudas e o restante 30 dias após o transplante. A partir da safra de 2011 não foi aplicado fosfato natural, pois os teores foram interpretados como muito alto, conforme a Comissão de Química e Fertilidade do solo de SC e RS (CQFS RS/SC, 2004). Em seguida foram abertos sulcos de 2 cm de largura x 5 cm de profundidade usando uma máquina de cultivo mínimo adaptada e foram transplantadas manualmente as mudas de cebola, cv. 'Empasc 352' - Bola Precoce. O espaçamento usado foi 0,50 m nas entrelinhas e 0,10 m entre plantas, cada parcela possuía 10 linhas de cebola, totalizando 500 plantas de cebola por parcela. Foram realizadas capinas aos 60 e 90 dias após o plantio das mudas de cebola para diminuir o estande de plantas espontâneas. Os procedimentos supracitados foram repetidos todos os anos.

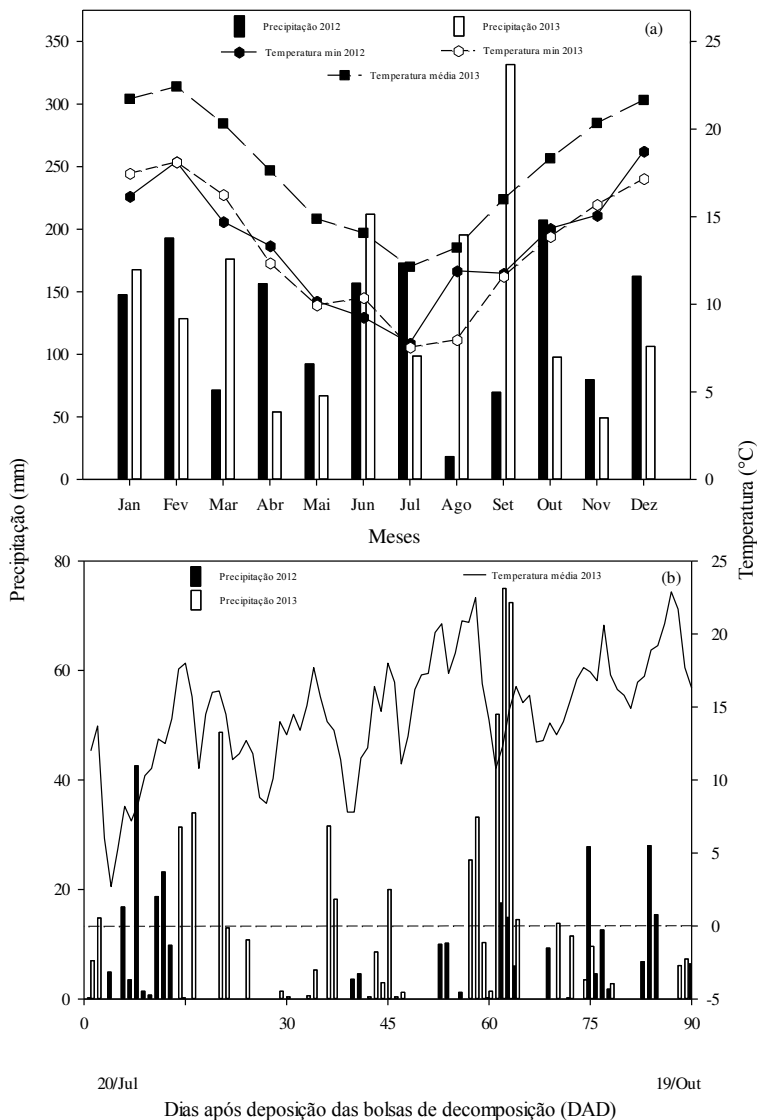


Figura 1. Precipitação e temperatura média mínima mensal para o ano de 2013 (a); Precipitação diárias em 2012 e 2013, e temperatura média diária em 2013 aos, 0, 30, 45, 60, 75 e 90 dias após deposição das bolsas de decomposição, na área experimental (b).

5.2.2 Coleta da parte aérea das espécies de plantas de cobertura, preparo e deposição das bolsas de decomposição

Em 11 de julho de 2013, com o auxílio de um quadrado metálico de 0,5 x 0,5 m (0,25 m²), a parte aérea das espécies de plantas de cobertura de todos os tratamentos foi cortada rente à superfície do solo. Foram coletadas cinco subamostras de massa verde (MV) em cada parcela e o material foi seco em estufa de circulação de ar forçado à 65°C até massa constante, para a determinação da produção de massa seca (MS) por hectare. Em 22 de julho de 2015 a parte aérea das espécies de plantas de cobertura de inverno, solteiras e consorciadas, remanescentes no campo foi cortada rente à superfície do solo, homogeneizada, pesada e acondicionada em bolsas de decomposição com tela de nylon, com malha de 2 mm e dimensões de 0,40 x 0,40 m (TAGLIAVINI et al., 2007). Uma parte da MV da parte aérea das plantas foi seca em estufa de circulação de ar forçado à 65°C até massa constante, foi moída e reservada para a caracterização da composição química (Tabela 1). Em cada bolsa de decomposição adicionaram-se: 235,13 g MV⁻¹ de VE; 767,99 g MV⁻¹ de AV; 434,50 g MV⁻¹ de CE; 460,46 g MV⁻¹ de NF; 570,67 g MV⁻¹ de NF+AV e 416,82 g MV⁻¹ de NF+CE, quantidades que corresponderam a 74,50; 84,48; 80,96; 58,24; 64,48 e 59,68 g bolsa⁻¹ de MS, respectivamente. Esses valores equivalem a 4.620 kg ha⁻¹ de MS de VE, 5.263 kg ha⁻¹ de MS de AV, 5.060 kg ha⁻¹ de MS de CE, 3.640 kg ha⁻¹ de MS de NF, 4.030 kg ha⁻¹ de MS de NF+AV e 3.730 kg ha⁻¹ de MS de NF+CE, o equivalente ao rendimento de MS de cada tratamento à campo. As demais características químicas iniciais dos resíduos e quantidades de nutrientes adicionadas em cada tratamento são apresentadas na Tabela 1.

As bolsas de decomposição foram depositadas diretamente sobre a superfície do solo, nas entrelinhas de plantio da cebola. Vinte quatro bolsas de cada tratamento foram depositadas, totalizando 144 bolsas para o conjunto dos tratamentos. As bolsas foram fixadas no solo, usando barras de ferro, para evitar o possível deslocamento provocado pelo vento e/ou pássaros.

Tabela 1. Caracterização química inicial dos resíduos da vegetação espontânea (VE), aveia preta (AV), centeio (CE), nabo-forrageiro (NF), nabo-forrageiro+aveia preta (NF+AV) e nabo-forrageiro+centeio (NF+CE) e quantidade adicionadas de matéria seca e nutrientes.

	VE	AV	CE	NF	NF+AV	NF+CE
	g kg ⁻¹					
COT ⁽¹⁾	409,44±1,02	375,00±0,40	400,98±2,06	365,21±1,21	369,75±0,80	366,75±1,50
N ⁽²⁾	26,18±0,17	19,83±0,21	18,00±0,19	22,28±0,37	21,92±0,34	24,19±0,22
P ⁽³⁾	5,46±0,12	6,03±0,02	5,70±0,02	6,56±0,06	6,59±0,01	6,57±0,01
K ⁽⁴⁾	21,47±0,10	42,90±0,59	24,91±0,30	33,38±0,45	36,28±0,32	33,00±0,81
Ca ⁽⁵⁾	4,86±0,10	3,53±0,04	6,36±0,12	6,86±0,06	10,43±0,11	7,98±0,16
Mg ⁽⁶⁾	1,90±0,05	1,59±0,03	2,15±0,11	2,11±0,01	4,64±0,05	2,63±0,04
Cel ⁽⁷⁾	182,31±1,02	239,59±7,21	161,81±7,59	211,05±2,87	220,69±2,34	192,91±1,12
Lig ⁽⁸⁾	69,25±0,77	86,13±2,23	102,81±5,33	71,68±1,63	93,51±2,41	80,59±0,63
Bio ⁽⁹⁾	748,44±1,28	674,28±5,78	735,48±9,01	717,27±4,09	685,57±4,19	726,50±1,57
C/N	16±0,99	19±1,93	22±2,32	17±2,72	17±2,50	15±1,53
Lig/N	3±0,17	4±0,21	6±0,19	3±0,37	4±0,34	3±0,21
C/P	75±14,82	62±2,61	70±5,36	56±4,91	56±6,28	56±7,59
Cel/Lig	3±0,17	3±0,21	2±0,19	3±0,37	2±0,34	2±0,22
	Quantidade adicionada (kg ha ⁻¹)					
MS ⁽¹⁰⁾	4620,00	5263,10	5060,00	3640,00	4030,00	3730,00
COT	1891,61	1973,66	2028,96	1329,36	1490,09	1367,98
N	120,95	104,37	91,08	81,10	88,34	90,23
P	25,23	31,74	28,84	23,88	26,56	24,51
K	99,19	225,79	126,04	121,50	146,21	123,09
Ca	22,45	18,58	32,18	24,97	42,03	29,77
Mg	8,78	8,37	10,88	7,68	18,70	9,81

⁽¹⁾ Carbono orgânico total; ⁽²⁾ Nitrogênio total; ⁽³⁾ Fósforo total; ⁽⁴⁾ Potássio total; ⁽⁵⁾ Cálcio total; ⁽⁶⁾ Magnésio total; ⁽⁷⁾ Celulose; ⁽⁸⁾ Lignina; ⁽⁹⁾ Biomassa não estrutural; ⁽¹⁰⁾ Matéria Seca; ± desvio padrão da média (n=4).

5.2.3 Coleta das bolsas de decomposição e análises dos resíduos vegetais

As bolsas de decomposição foram coletadas no tempo zero (antes da deposição na superfície do solo) e aos 30, 45, 60, 75 e 90 dias após a deposição das bolsas de decomposição (DAD). Em cada data avaliada foram coletadas quatro bolsas de decomposição por tratamento (depositadas em quatro blocos). Em seguida, os resíduos foram retirados das bolsas, lavados com água destilada e, em seguida, com uma solução de HCl 0,1 mol L⁻¹ durante dois minutos e novamente lavados com água destilada. Imediatamente, os resíduos foram secos em estufa de circulação de ar forçado à 65°C até massa constante e, em seguida, foram pesados para a determinação da MS remanescente. Posteriormente, os resíduos foram moídos em moinho do tipo Willey e reservados.

Os resíduos das espécies de plantas de cobertura reservados para a caracterização química e aqueles decorrentes de cada data de coleta foram submetidos à análise de lignina (Lig), celulose (Cel) e biomassa não

estrutural (Bio). A biomassa não estrutural se refere à fração que não corresponde à lignina e celulose, ou seja, compõem a biomassa que não participa da estrutura do tecido (ABER; MARTIN, 1999). Os totais de COT, N, P, K, Ca e Mg foram determinados segundo metodologia proposta por TEDESCO et al. (1995). O C foi determinado pelo método proposto por WALKLEY e BLACK (1934). Os resíduos vegetais foram submetidos à digestão sulfúrica e no extrato, o N foi determinado pelo método de Kjeldahl. O P foi determinado utilizando um espectrofotômetro de luz visível (λ 660 nm) colorimetricamente pelo método do azul de molibdênio e o K foi extraído por Mehlich-1 (TEDESCO et al., 1995). Posteriormente, foram calculadas as relações C/N, Lig/N, C/P e Cel/Lig (Tabela 1).

5.2.4 Rendimento da cebola

Nos dias 20 e 23 de novembro de 2012 e 2013, respectivamente, foi realizada manualmente a colheita da cebola em seis linhas centrais de cada parcela, correspondendo a uma área útil de 9,6 m². Os bulbos permaneceram na superfície do solo por 10 dias para a cura (secagem e perda de água das folhas). Posteriormente, os bulbos foram classificados em “calibres”, de acordo com o seu respectivo diâmetro (EPAGRI, 2013): classe 0 (<15 mm); classe 1 (>15 e <35 mm), classe 2 (>35 e <50 mm), classe 3 (>50 e <60 mm), classe 4 (>70 e <90 mm), classe 5 (>90 mm), além dos bulbos com podridão e florescidos, foram pesados e determinada a produtividade.

5.2.5 Atributos químicos do solo

Em julho de 2012 e 2013, após o transplante das mudas de cebola e em dezembro dos respectivos anos, depois da colheita da cebola, foram coletadas cinco subamostras de solo na camada de 0-10 cm em cada parcela e, logo depois, homogeneizadas para compor uma amostra. O solo foi seco ao ar, moído, passado em peneira de 2 mm e submetido à análise de carbono orgânico total (COT), pH em água (relação 1:1); teores de Ca, Mg, Al (ambos extraídos por KCl 1 mol L⁻¹), P disponível e K disponível (ambos extraídos por Mehlich-1) (TEDESCO et al., 1995). O Ca e o Mg foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica. O Al foi determinado por titulação com NaOH. O P foi determinado utilizando um espectrofotômetro de luz visível (λ 660 nm) colorimetricamente pelo

método do azul de molibdênio, enquanto o teor de K foi determinado por fotometria de chama (TEDESCO et al., 1995). Calculou-se a capacidade de troca de cátions a $\text{pH}_{7,0}$ ($\text{CTCpH}_{7,0}$) e a saturação por bases (V) (CQFS-RS/SC, 2004).

5.2.6 Análise estatística

Os dados de MS e os componentes de celulose, lignina e biomassa não estrutural; os teores totais de COT, N, P, K, Ca e Mg foram apresentados em percentagens no tecido. Além disso, foi calculada a percentagem remanescente, que se refere à quantidade inicial de MS e determinado nutriente, em relação à quantidade na data de coleta. Os resultados de percentagem remanescente de cada variável foram ajustados pelo modelo matemático exponencial descrito por Wider e Lang (1982): $X = X_0 e^{(-kt)}$ em que X = a quantidade de MS ou nutriente remanescente após um período de tempo t, em dias; X_0 = a quantidade inicial de MS ou nutriente e k = a constante de decomposição. Com o valor de k foi calculado o tempo de meia-vida ($t^{1/2} = 0,693/k$) (PAUL; CLARK, 1996), que expressa o período de tempo necessário para que metade dos resíduos seja decomposta ou para que metade dos nutrientes contidos nos resíduos seja liberada.

Os resultados do rendimento da cebola, os atributos do solo e os parâmetros de decomposição (X_0 , k e $t^{1/2}$) foram analisados quanto à normalidade por meio do teste de Shapiro-Wilk, sendo submetidos à análise de variância e, quando os efeitos foram significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (SAS, 2003).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Decomposição dos resíduos e liberação de nutrientes

A dinâmica de decomposição da MS, COT, lignina, celulose, biomassa não estrutural, e mineralização N, P, K, Ca e Mg durante o período de deposição dos resíduos da VE, AV, CE, NF, NF+AV e NF+CE na superfície do solo (tempo zero) até os 90 DAD, que correspondeu, aproximadamente, ao período vegetativo até a produção de bulbos da cebola, foi descrita pelo modelo de decaimento exponencial (Tabela 2 e 3; Figuras 2 e 3, respectivamente). A MS remanescente dos resíduos de

todos os tratamentos diminuiu ao longo do tempo (Tabela 2; Figura 2). Isso aconteceu por causa da fragmentação dos resíduos e incorporação pela fauna do solo, e lixiviação de compostos solúveis em água degradados pela população microbiana dos resíduos vegetais.

A maior parte dos microrganismos, especialmente fungos e bactérias, colonizam os resíduos vegetais e parte do COT é utilizado como fonte de ATP, sendo parte liberado na forma CO_2 para a atmosfera (MANZONI et al., 2008). Adicionalmente, o aumento da temperatura do ar, por consequência, do solo e, as precipitações ocorridas durante o experimento podem ter contribuído para a colonização dos resíduos pelos microrganismos (Figura 1a e 1b) (TORRES et al., 2005; TEIXEIRA et al., 2012).

A partir dos 30 até os 90 DAD, as maiores percentagens de MS remanescentes foram observadas nos resíduos de CE, com média de 55% aos 90 DAD (Tabela 2; Figura 2a). Percentuais intermediários de MS foram verificados a partir dos 45 até os 90 DAD nos resíduos de NF, AV e NF+AV. Os tempos de meia-vida ($t^{1/2}$) para o CE, NF, AV e NF+AV foram de 90, 61, 58 e 54 dias, respectivamente (Tabela 2; Figura 2a). A menor percentagem de MS remanescente, aproximadamente 32% aos 90 DAD, foi verificada nos resíduos da VE, sendo o $t^{1/2}$ de 30 dias. A maior quantidade de MS remanescente do CE aos 90 DAD pode ser atribuída ao maior teor inicial de lignina ($102,81 \text{ g kg}^{-1}$) e maior valor da relação C/N (22,6) e menor valor da relação Cel/Lig (3) (Tabela 1). Em geral, resíduos com elevados teores de lignina apresentam maiores valores da relação Lig/N e menores valores de Cel/Lig, e, assim menor decomposição, porque a lignina tende a proteger mecanicamente a celulose da parede celular contra a degradação microbiana (BERG; MCCLAUGHERTY, 2008). Normalmente, a decomposição de MS de tipos de resíduos vegetais depositados na superfície do solo é explicada, pela relação C/N, bem como pela relação Cel/Lig e Lig/N (GENTILE et al., 2009; MANZONI et al., 2008). Resíduos com relação C/N menor que 30, como na VE (16), comparativamente àqueles com relação C/N maior que 30, são mais facilmente colonizados pela população microbiana, porque há mais N disponível para a constituição de seu tecido, o que aumenta a mineralização de componentes do resíduo e, por consequência, se reflete em menor MS remanescente (FERREIRA et al., 2014). Dessa forma, a menor quantidade de MS remanescente da VE é devida, em parte, à sua relação C/N que foi menor devido à mistura de várias espécies, dentre elas gramíneas e leguminosas, dos 30 aos 90 DAD (Tabela 4), e menores valores de relações Lig/N e Cel/Lig.

O COT remanescente diminuiu ao longo do tempo nos resíduos de todos os tratamentos (Tabela 2; Figura 2b). Isso pode ser atribuído à lixiviação de C orgânico solúvel que pode ser rapidamente usado pela população microbiana (CARNEIRO et al., 2008), sendo uma porção liberada na forma de CO₂ para a atmosfera (CARNEIRO et al., 2008; MANZONI et al., 2008). Mas também, devido à degradação de compostos orgânicos recalcitrantes dos resíduos (BERG; MCCLAUGHERTY, 2008). A maior percentagem de COT remanescente, dos 30 aos 90 DAD, foi observada nos resíduos de CE, seguida pelo NF, com média de 54 e 42% aos 90 DAD, e $t^{1/2}$ de 88 e 68 dias, respectivamente (Tabela 2; Figura 2b). Percentuais intermediários de COT foram verificados a partir dos 45 até os 90 DAD nos resíduos de AV e NF+AV com $t^{1/2}$ igual a 58 e 57 dias, respectivamente. A menor percentagem de COT remanescente a partir dos 30 DAD foi verificada nos resíduos da VE, com média 30% aos 90 DAD, com o $t^{1/2}$ de 29 dias (Tabela 2). Os resultados relatados para o CE se devem à maior relação C/N e Lig/N, que são decompostos e liberam os nutrientes para o solo de forma mais lenta e gradual (GIACOMINI et al., 2003) (Tabela 1). Já as menores percentagens de COT verificadas na VE são decorrentes dos menores teores de lignina, menores valores da relação C/N e Lig/N, o que ocasiona uma decomposição e liberação de nutrientes mais rápida (CRUSCIOL et al., 2005). Os valores intermediários de COT verificados no consórcio do NF+AV se devem, em parte, aos valores intermediários de lignina (93,51 g kg⁻¹), celulose (220,69 g kg⁻¹), biomassa não estrutural (685,57 g kg⁻¹), N e das relações C/N, C/P e Lig/N, e, com isso, obtém-se a manutenção de percentagens intermediárias, assim como resíduos vegetais em quantidades adequadas na superfície do solo (GIACOMINI et al., 2003).

Tabela 2. Parâmetros dos valores ajustados ($X=X_0e^{-kt}$) aos valores de matéria seca (MS) remanescente, carbono orgânico total (COT), lignina (Lig), celulose (Cel), biomassa não estrutural (Bio); o tempo de meia-vida ($t^{1/2}$) e a constante de decomposição (k) de cada compartimento e valores de R^2 para os resíduos da vegetação espontânea (VE), aveia preta (AV), centeio (CE), nabo-forrageiro (NF), nabo-forrageiro+aveia preta (NF+AV) e nabo-forrageiro+centeio (NF+CE) depositados nas entrelinhas de plantio da cebola.

Parâmetros da equação de decomposição				
	$X_0^{(2)}$	$k^{(3)}$	$t^{1/2(4)}$	R^2
Matéria seca remanescente				
	%	g g ⁻¹	dias	
VE ⁽¹⁾	100,15 a	0,0232 a	30 c	0,84*
AV	102,73 a	0,0120 cb	58 b	0,96*
CE	104,31 a	0,0078 c	90 a	0,91*
NF	97,43 a	0,0116 cb	61 b	0,94*
NF + AV	107,50 a	0,0129 b	54 b	0,96*
NF + CE	101,92 a	0,0144 b	48 bc	0,96*
CV (%)	4,46	11,25	12,12	
Carbono orgânico remanescente				
VE	100,63 a	0,0243 a	29 d	0,85*
AV	104,97 a	0,0119 bc	58 bc	0,96*
CE	104,55 a	0,0080 d	88 a	0,90*
NF	99,25 a	0,0103 cd	68 b	0,93*
NF + AV	110,00 a	0,0122 bc	57 bc	0,94*
NF + CE	105,89 a	0,0144 b	48 c	0,96*
CV (%)	4,00	10,03	11,61	
Celulose remanescente				
VE	106,88 a	0,0309 ab	24 b	0,87*
AV	101,42 a	0,0341 a	20 b	0,97*
CE	110,79 a	0,0199 b	35 a	0,86*
NF	99,02 a	0,0326 a	22 b	0,97*
NF + AV	100,46 a	0,0299 ab	23 b	0,97*
NF + CE	96,91 a	0,0321 a	22 b	0,98*
CV (%)	4,90	13,88	15,82	
Lignina remanescente				
VE	95,15 a	0,0257 a	28 b	0,83*
AV	101,75 a	0,0109 b	74 a	0,81*
CE	80,15 a	0,0179 ab	40 ab	0,74*
NF	79,24 a	0,0106 b	67 ab	0,62*
NF + AV	91,61 a	0,0264 a	26 b	0,90*
NF + CE	87,46 a	0,0269 a	26 b	0,90*
CV (%)	11,92	19,79	32,62	
Biomassa não estrutural remanescente				
VE	98,05 a	0,0209 a	34 c	0,80*
AV	107,71 a	0,0083 cd	84 b	0,90*
CE	107,01 a	0,0056 d	128 a	0,82*
NF	101,60 a	0,0090 cd	79 b	0,91*
NF + AV	106,04 a	0,0129 bc	54 bc	0,97*
NF + CE	100,29 a	0,0145 b	48 bc	0,96*
CV (%)	4,93	13,67	21,18	

*= significativo a 5% de probabilidade; ⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade; ^{ns}: Não significativo; ⁽²⁾ Quantidade inicial; ⁽³⁾ Constante de decomposição e ⁽⁴⁾ Tempo de meia vida.

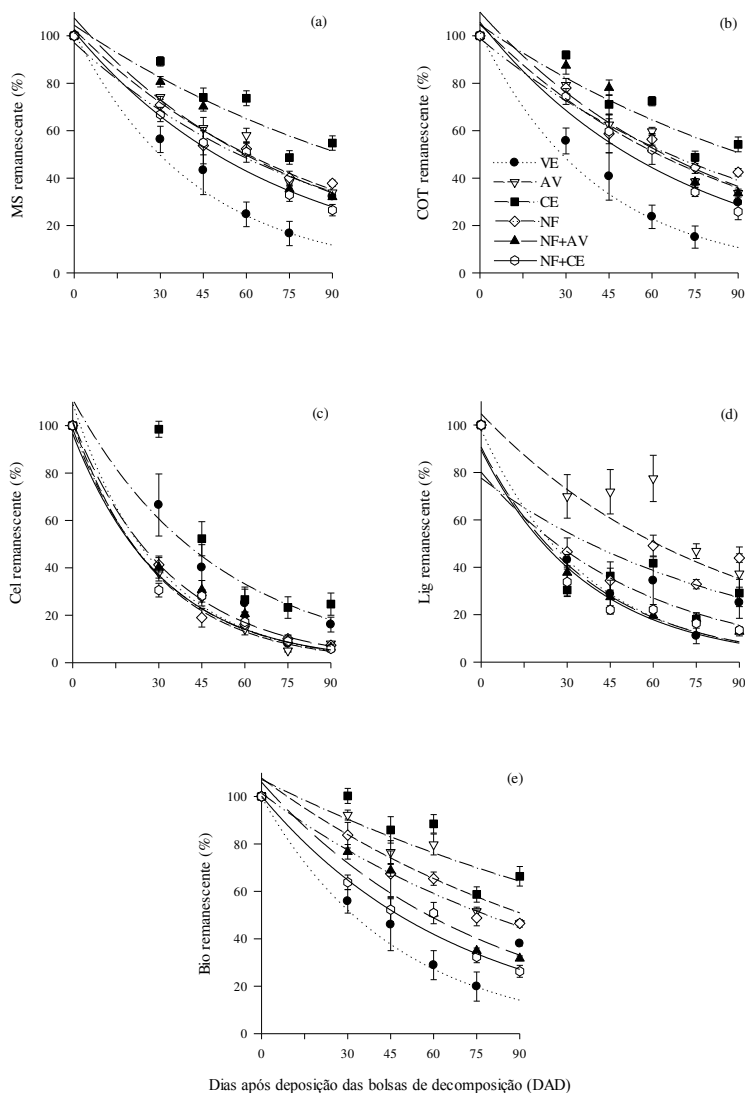


Figura 2. Percentagem remanescente de matéria seca (MS) (a), carbono orgânico total (COT) (b), celulose (Cel) (c), lignina (Lig) (d) e biomassa não estrutural (Bio) (e), em resíduos da vegetação espontânea (VE), aveia preta (AV), centeio (CE), nabo-forrageiro (NF), nabo-forrageiro+aveia preta (NF+AV) e nabo-forrageiro+centeio (NF+CE), depositados na linha de plantio da cebola. Barras verticais representam erro padrão da média.

As percentagens de lignina, celulose e biomassa não estrutural diminuíram ao longo do tempo (Tabela 2; Figuras 2c, 2d e 2e). Dos 30 aos 90 DAD, a maior percentagem de celulose remanescente, com média de 25% aos 90 DAD, foi verificada nos resíduos de CE, com o $t^{1/2}$ de 35 dias (Tabela 2; Figura 2c). Os resíduos de VE, NF+AV, NF+CE, NF e AV apresentaram as menores percentagens de celulose remanescente em todas as épocas avaliadas, com o $t^{1/2}$ de 24, 23, 22, 22 e 20 dias, respectivamente. A celulose é um componente não solúvel que é encontrado, principalmente, na parede celular primária dos vegetais, sendo um dos primeiros componentes a se decompor (BERG; MCCLAUGHERTY, 2008). A menor quantidade inicial de celulose foi encontrada nos resíduos de CE (161,81 g kg⁻¹) (Tabela 1), momento anterior ao estágio de florescimento da planta, quando as plantas de centeio foram cortadas. Isso pode explicar o padrão que a MS de CE apresentou, ou seja, uma decomposição mais lenta em relação aos demais tratamentos. Já a MS da AV, que apresentou maior teor inicial de celulose (239,59 g kg⁻¹), resultou numa decomposição da celulose remanescente mais rápida (Tabela 1).

Os resíduos de AV, dos 30 aos 90 DAD, apresentaram a maior percentagem de lignina remanescente, com média de 37% aos 90 DAD (Tabela 2; Figura 2d). Percentuais intermediários de lignina remanescente foram observados nos resíduos de NF e CE, dos 45 aos 90 DAD, com média de 34 e 17%, respectivamente, aos 90 DAD. O $t^{1/2}$ da lignina para os resíduos de AV, NF e CE foram de 74, 67 e 40 dias, respectivamente. As menores percentagens remanescentes de lignina foram observadas nos resíduos do NF+AV, NF+CE e VE, com média de 12, 13 e 25%, e o $t^{1/2}$ de 26, 26 e 28 dias, respectivamente. A lignina é encontrada, principalmente, na parede celular secundária e na lamela média, e constitui, principalmente, as fibras dos resíduos vegetais, sendo um componente estrutural altamente resistente à decomposição microbiana (BERG; MCCLAUGHERTY, 2008; TALBOT et al., 2011). Nos resíduos da AV e CE verificaram-se maiores teores de lignina remanescente (Figura 2d), o que acarreta, em parte, na menor decomposição, porque a lignina age mecanicamente protegendo a celulose (TALBOT et al., 2011). A menor quantidade de lignina remanescente, aos 90 DAD, nos resíduos de NF pode ser atribuída ao menor teor inicial de lignina (71,68 g kg⁻¹) e maior teor de celulose (211,05 g kg⁻¹), o que potencializa a decomposição (Tabela 1).

A biomassa não estrutural compõe a biomassa que não participa da estrutura do tecido, e se refere a fração que não corresponde à lignina e celulose da parede celular dos vegetais (TAGLIAVINI et al., 2007). A

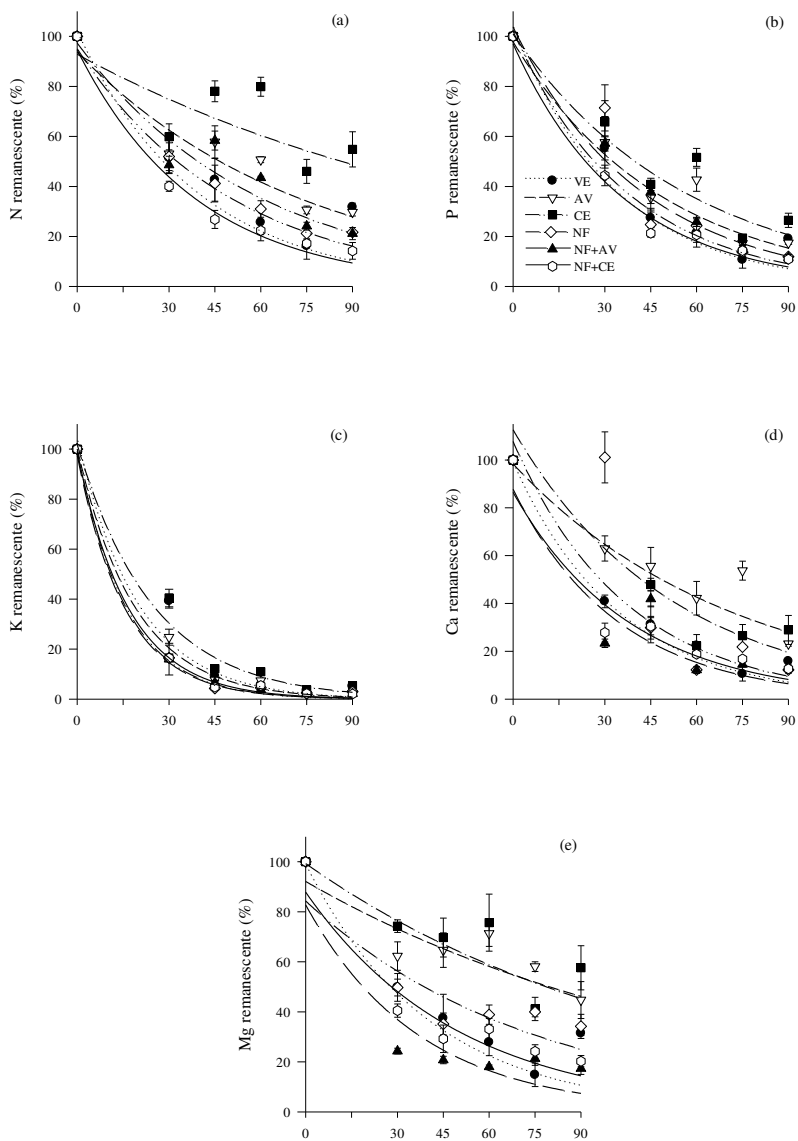
maior percentagem de biomassa não estrutural remanescente, dos 30 aos 90 DAD, foi observada nos resíduos de CE, com média de 66% aos 90 DAD (Tabela 2; Figura 2e). Percentuais intermediários foram verificados nos resíduos de NF+AV e NF+CE, sendo $t^{1/2}$ 54 e 48 dias, respectivamente. Mas, a menor percentagem de biomassa não estrutural remanescente, a partir dos 30 DAD, foi observada nos resíduos da VE, com média 38% aos 90 DAD, sendo o $t^{1/2}$ de 34 dias (Tabela 2; Figura 2a). A maior percentagem de biomassa não estrutural nos resíduos de CE, pode ser atribuída ao maior teor de lignina ($102,81 \text{ g kg}^{-1}$) e menor teor de celulose ($161,81 \text{ g kg}^{-1}$) e à sua relação C/N (22). Já os percentuais intermediários encontrados nos resíduos de NF+AV e NF+CE, podem ser atribuídos aos valores intermediários de lignina ($93,51$ e $80,59 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente), celulose ($220,69$ e $192,91 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente) e de relação C/N (17 e 15, respectivamente). As menores percentagens de biomassa não estrutural remanescente nos resíduos da VE podem ser atribuídas aos baixos valores de relação C/N (Tabela 4).

A maior percentagem de N remanescente, dos 30 aos 90 DAD, foi observada nos resíduos de CE (Tabela 3; Figura 3a). Enquanto percentuais intermediários foram observados nos resíduos de AV e NF+AV, sendo o $t^{1/2}$ para CE, AV e NF+AV de 84, 52 e 42 dias, respectivamente. A menor percentagem de N remanescente foi observada nos resíduos de NF+CE e VE, com média de 18% aos 90 DAD, com o $t^{1/2}$ 28 e 30 dias, respectivamente. A maior permanência do N remanescente observada nos resíduos de CE pode ser atribuída, em parte, a relação C/N (22) e Lig/N (6), à baixa concentração inicial de N ($18,00 \text{ g kg}^{-1}$), alta concentração de lignina ($102,81 \text{ g kg}^{-1}$) e baixa concentração de celulose ($161,81 \text{ g kg}^{-1}$), em relação às demais espécies de plantas de cobertura (Tabela 1) (CHEN et al., 2014). Doneda et al. (2012) avaliaram a relação C/N do centeio, aveia preta, nabo-forrageiro e ervilhaca, em SPD num Latossolo Vermelho no RS e verificaram que para o centeio a relação C/N foi de 34; sendo maior quando comparada às demais plantas de cobertura avaliadas, o que resultou em maior permanência dos resíduos vegetais na superfície do solo. Já a menor quantidade de N remanescente na VE pode ser atribuída, em parte, à menor relação C/N verificada dos 30 aos 90 DAD (Tabela 4). Os teores de N remanescente intermediários para o consórcio de NF+AV se devem, principalmente, à sua relação C/N (17), que resulta em uma liberação de N intermediária em relação às demais plantas de cobertura do solo (GIACOMINI et al., 2003).

Tabela 3. Parâmetros dos valores ajustados ($X=X_0e^{-(kt)}$) aos valores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio; o tempo de meia-vida ($t^{1/2}$) e a constante de decomposição (k) de cada compartimento e valores de R^2 para os resíduos da vegetação espontânea (VE), aveia preta (AV), centeio (CE), nabo-forrageiro (NF), nabo-forrageiro+aveia preta (NF+AV) e nabo-forrageiro+centeio (NF+CE) depositados na linha de plantio da cebola.

Parâmetros da equação de decomposição				
	$X_0^{(2)}$	$k^{(3)}$	$t^{1/2(4)}$	R^2
Nitrogênio remanescente				
	%	g g ⁻¹	dias	
VE	98,54 a	0,0236 ab	30 c	0,85*
AV	94,14 a	0,0134 bc	52 b	0,90*
CE	92,72 a	0,0070 c	84 a	0,67*
NF	95,58 a	0,0196 ab	36 bc	0,93*
NF + AV	97,19 a	0,0167 abc	42 bc	0,93*
NF + CE	93,73 a	0,0250 a	28 c	0,96*
CV (%)	7,65	20,70	12,10	
Fósforo remanescente				
VE	101,15 a	0,0250 a	28 b	0,93*
AV	98,52 a	0,0206 ab	34 ab	0,91*
CE	101,13 a	0,0176 b	39 a	0,91*
NF	103,30 a	0,0268 a	26 b	0,91*
NF + AV	103,93 a	0,0239 ab	29 b	0,98*
NF + CE	103,18 a	0,0252 a	28 b	0,95*
CV (%)	5,29	10,08	8,45	
Potássio remanescente				
VE	103,65 a	0,0507 ab	14 b	0,93*
AV	99,03 a	0,0619 a	11 b	0,97*
CE	101,80 a	0,0403 b	17 a	0,97*
NF	99,03 a	0,0527 ab	11 b	0,97*
NF + AV	98,89 a	0,0640 a	11 b	0,96*
NF + CE	98,83 a	0,0596 a	12 b	0,98*
CV (%)	1,93	11,21	9,24	
Cálcio remanescente				
VE	98,03 bc	0,0284 a	24 c	0,92*
AV	98,55 bc	0,0139 b	50 a	0,87*
CE	112,35 a	0,0193 b	36 b	0,79*
NF	108,00 ab	0,0269 a	26 c	0,84*
NF + AV	88,02 c	0,0291 a	24 c	0,85*
NF + CE	87,60 c	0,0263 a	26 c	0,90*
CV (%)	4,62	8,12	7,59	
Magnésio remanescente				
VE	97,04 a	0,0237 a	30 c	0,83*
AV	100,75 a	0,0091 c	77 ab	0,91*
CE	99,61 ab	0,0082 c	88 a	0,81*
NF	84,82 ab	0,0135 bc	52 bc	0,80*
NF + AV	82,32 b	0,0267 a	26 c	0,81*
NF + CE	88,10 ab	0,0201 ab	35 c	0,88*
CV (%)	5,58	11,52	18,43	

**: significativo a 5% de probabilidade; ns: não significativo; ⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade; ⁽²⁾ Quantidade inicial; ⁽³⁾ Constante de decomposição e ⁽⁴⁾ Tempo de meia vida.



Dias após deposição das bolsas de decomposição (DAD)

Figura 3. Percentagem remanescente de nitrogênio (N) (a), fósforo (P) (b), potássio (K) (c), cálcio (Ca) (d) e magnésio (Mg) (e), em resíduos da vegetação espontânea (VE), aveia preta (AV), centeio (CE), nabo-forrageiro (NF), nabo-forrageiro+aveia preta (NF+AV) e nabo-forrageiro+centeio (NF+CE), deposita na linha de plantio da cebola. Barras verticais representam desvio padrão.

A maior percentagem de P remanescente foi verificada nos resíduos de CE e percentuais intermediários foram observados nos resíduos de AV, com média 26 e 17% aos 90 DAD, respectivamente, com o $t^{1/2}$ de 39 e 34 dias (Tabela 3; Figura 3b). A menor percentagem de P remanescente foi verificada nos resíduos de NF, que não diferiu da VE, NF+AV e NF+CE, com média 12, 19, 12 e 11% aos 90 DAD, respectivamente, com o $t^{1/2}$ de 26, 28, 28 e 29 dias, respectivamente (Tabela 3; Figura 3b). Convém destacar que aos 90 DAD, os resíduos de todas as plantas de cobertura depositados na superfície do solo apresentaram percentagens de P remanescente menores que 40%, indicando a liberação de mais da metade do P contido nos resíduos. A maior permanência de P na MS dos resíduos de CE pode ser devido à predominância de formas orgânicas de P, que dependem da mineralização da MS para a sua liberação, pois o CE apresentou o maior $t^{1/2}$ (39 dias) e maiores teores de lignina. O menor teor de P remanescente nos resíduos de NF pode ser explicada pela menor relação C/P (56) (Tabela 1) (GIACOMINI et al., 2003; FERREIRA et al., 2014). Os teores de P remanescente intermediários para a AV se devem, em parte, ao valor da relação C/P (62), que resultou em valor intermediário em relação aos demais resíduos (Tabela 1). Este resultado diferiu daquele do N, pois o P apresentou liberação inicial bem mais rápida (Figuras 3a e 3b, respectivamente), sendo essa maior liberação no período inicial da decomposição devido à perda de P solúvel acumulado nos vacúolos dos tecidos vegetais (BUCHANAN; KING, 1993).

A maior percentagem de K remanescente, dos 30 aos 90 DAD, foi verificada nos resíduos de CE, com média de 5% aos 90 DAD (Tabela 3; Figura 3c). A menor percentagem de K remanescente foi observada nos demais tratamentos, com média 2% e o $t^{1/2}$ médio de 12 dias (Tabela 3; Figura 3c). O maior teor de K remanescente nos resíduos de CE pode ser explicado pelo maior $t^{1/2}$ (90 dias) da MS (Tabela 2) e maior teor de biomassa não estrutural (735,48 g kg⁻¹) (Tabela 1). Os baixos teores de K remanescentes aos 30 DAD (Figura 3c) ocorrem por causa da sua fácil solubilidade no tecido, uma vez que o elemento não se liga a um componente estrutural no tecido, facilitando a sua rápida liberação (PAVINATO; ROSELEM, 2008). Isso se deve ao fato do K poder tanto ser lixiviado dos resíduos pela água das precipitações quanto pela umidade do solo (ROSELEM et al., 2003; BOER et al., 2007). Assim, a maior liberação de K para o solo confirma a alta ciclagem desse nutriente, mantendo ou incrementando seu teor no solo (Tabela 6) (TEIXEIRA et al., 2012; FERREIRA et al., 2014).

Tabela 4. Relação C/N da matéria seca remanescente dos resíduos da vegetação espontânea (VE), aveia preta (AV), centeio (CE), nabo-forrageiro (NF), nabo-forrageiro+aveia preta (NF+AV) e nabo-forrageiro+centeio (NF+CE) depositados na entrelinha de plantio da cebola.

Tratamentos	Dias após deposição das bolsas de decomposição					
	0	30	45	60	75	90
VE ⁽¹⁾	15,8b ⁽²⁾	17,0b	17,1b	14,5b	14,3c	16,4c
AV	19,3ab	27,2ab	29,5a	21,1ab	22,3abc	23,9bc
CE	22,6a	28,1a	34,9a	20,4ab	20,3bc	24,5bc
NF	16,7b	25,1ab	25,6ab	24,4a	30,6a	35,0a
NF + AV	17,2b	29,1a	30,7a	23,0a	20,4bc	27,2ab
NF + CE	15,5b	31,4a	30,9a	27,3a	29,5ab	26,1abc
CV (%)	10,54	18,25	17,38	16,33	17,99	17,10

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra, na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

A maior percentagem de Ca remanescente dos 45 aos 90 DAD foi verificada nos resíduos de AV, seguida do CE, com média 31 e 22% aos 90 DAD, com o $t^{1/2}$ 50 e 36 dias, respectivamente (Tabela 3; Figura 3d). A menor percentagem de Ca remanescente foi observada nos resíduos de NF+AV, VE, NF e NF+CE, com média 2, 4, 3, 1%, respectivamente aos 90 DAD, sendo o $t^{1/2}$ 24, 24, 26 e 26 dias, respectivamente (Tabela 3; Figura 3d). A maior quantidade de Ca nos resíduos de AV pode ser devido ao Ca ser um elemento que faz parte da composição estrutural das células, é cofator de enzimas envolvidas na hidrólise de ATP e de fosfolipídios e mensageiro secundário na regulação metabólica (TAIZ; ZEIGER, 2013), o que para TEIXEIRA et al. (2011), acarreta em maior dificuldade para a sua liberação dos resíduos em decomposição para o solo. O menor teor de Ca remanescente nos resíduos da VE se deve, em parte, ao menor $t^{1/2}$ (34 dias) da biomassa não estrutural (Tabela 2), menores valores de relação C/N remanescente (Tabela 4). Isso favorece a decomposição e, assim, maior liberação de Ca.

A maior percentagem de Mg remanescente dos 30 aos 90 DAD foi verificada nos resíduos de CE, seguido da AV, com média 51 e 45% e $t^{1/2}$ de 88 e 77 dias, respectivamente (Tabela 3; Figura 3e). Percentuais intermédios foram verificados nos resíduos de NF, sendo o $t^{1/2}$ de 52 dias. A menor percentagem de Mg remanescente foi verificada nos resíduos de NF+AV, VE e NF+CE, com média 18, 15, 15%, sendo o $t^{1/2}$ de 26, 30 e 35 dias, respectivamente (Tabela 3; Figura 3e). O Mg é componente principal da clorofila e tem papel específico nas células vegetais, especialmente na fotossíntese e na ativação de enzimas envolvidas na respiração celular (TAIZ; ZEIGER, 2013). O valor intermediário verificado no NF pode ser devido, em parte, ao seu conteúdo médio de Mg (2,11 g kg⁻¹) adicionado inicialmente, que proporcionou quantidade inicial média de 7,7 kg ha⁻¹ (Tabela 1). Já o menor teor de Mg

remanescente na VE se deve, em parte, às plantas já terem ultrapassado seu estágio de floração quando da sua deposição na superfície do solo, reduzindo seus teores de Mg no tecido.

5.3.2 Rendimento de cebola

Na safra de 2012, o maior e menor rendimento total de cebola foram observados nos tratamentos com deposição de resíduos de AV e VE, respectivamente, sendo valores intermediários verificados nos tratamentos com resíduos de CE, NF+AV e NF+CE (Tabela 5). Em 2013, o maior rendimento total de cebola foi verificado no solo com deposição de resíduos de plantas de cobertura. O menor rendimento de cebola na VE (nas duas safras) pode ser explicado pela presença de plantas espontâneas durante o ciclo da cebola que aumentam a competição por água e nutrientes com a cultura (SOUZA et al., 2013) e apresentam decomposição mais acelerada da MS, em comparação às plantas de cobertura (Tabela 2, Figura 2a), o que também acarreta em uma liberação de nutrientes mais rápida para o solo, favorecendo assim a maiores perdas desses elementos. Esse resultado foi observado por Wang et al. (2008), os quais verificaram maior influência no diâmetro de bulbos e menor rendimento para a cebola em parcela com vegetação espontânea.

Na safra de 2012 e 2013 foram identificadas as classes de bulbos 2 e 3 (Tabela 5). O rendimento de bulbos da classe 3 não diferiu entre os tratamentos, enquanto o maior rendimento de bulbos na classe 2 foi verificado no tratamento com deposição de resíduos de espécies de plantas de cobertura. Em 2012, em todos os tratamentos foram observados bulbos com podridão ou florescidos, mas não foram verificadas diferenças entre os tratamentos. O maior rendimento total de cebola e da classe 2 nas safras de 2012 e 2013 em todos os tratamentos com resíduos de espécies de plantas de cobertura, comparativamente ao solo com VE, pode ser explicado pela maior produção de MS (Figura 2a), que aumenta a proteção da superfície do solo contra o impacto das gotas de chuva, o que por consequência pode diminuir a perda de solo, água e nutrientes por escoamento superficial (BERTOL et al., 2011). Mas também, pode estar associada às quantidades de nutrientes adicionadas (Tabela 1) e liberada ao longo da decomposição da MS (Figuras 2a, 2b, 2c, 2d, 2e, 3a, 3b, 3c, 3d e 3e), pois parte desses nutrientes liberados podem ser absorvidos pela cebola ao longo dos 90 DAD, resultado também observado por SOUZA et al. (2013).

Tabela 5. Produção de bulbos de cebola por classe comercial, bulbos com podridão/florescidos, e produção total nas safras de 2012 e 2013 sob manejo de plantas de cobertura com resíduos da vegetação espontânea (VE), aveia preta (AV), centeio (CE), nabo-forrageiro (NF), nabo-forrageiro+aveia preta (NF+AV) e nabo-forrageiro+centeio (NF+CE) depositados na linha de plantio da cebola.

Tratamentos	Classe 3	Classe 2	Bulbos com	Produção
t ha ⁻¹				
Ano de 2012				
VE ⁽¹⁾	-	4,8 b	0,06 ^{ns}	4,8 c
AV	0,6 ^{ns}	10,3 a	0,2	11,0 a
CE	0,5	9,5 a	0,3	10,2 ab
NF	0,2	9,0 a	0,2	9,3 b
NF + AV	0,3	9,8 a	0,1	10,2 ab
NF + CE	0,3	9,8 a	0,3	10,4 ab
CV(%)	51,64	11,91	59,94	11,46
Ano de 2013				
VE	0,7 ^{ns}	8,9 b	0,07 ^{ns}	9,5 b
AV	1,7	10,9 a	0,3	12,8 a
CE	1,1	10,7 a	0,2	11,9 a
NF	0,8	10,6 a	0,2	11,5 a
NF + AV	1,3	11,0 a	0,2	12,5 a
NF + CE	1,0	10,6 a	0,3	11,9 a
CV(%)	30,74	8,11	76,21	9,27

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra, na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade; ^{ns}: Não significativo.

5.3.3 Atributos químicos do solo

Na safra de 2012, os teores de matéria orgânica (MO), pH em água, Ca, Mg e Al trocáveis; P disponível, CTC_{pH7,0} e saturação por base (V) no solo da camada de 0-10 cm, antes do transplante da cebola, não foram afetados pela decomposição dos resíduos das plantas de cobertura, com exceção dos teores de K trocável no solo que foram maiores no tratamento VE (Tabela 6). Os maiores teores de K trocáveis no solo com VE refletem a capacidade das espécies de plantas espontâneas na ciclagem de nutrientes, associado à decomposição mais acelerada dos resíduos vegetais.

Na safra de 2012, após a colheita da cebola, os teores de COT, Al trocável, P disponível, K disponível e CTC_{pH7,0} no solo na camada de 0-10 cm não foram afetados pela deposição de resíduos (Tabela 6). Mas, os maiores valores de pH em água, Ca e Mg trocáveis e saturação por bases (V), na safra de 2012, após a colheita da cebola, foram verificados com a deposição de resíduos de VE, NF e NF+AV em comparação à AV (Tabela 6). Isso pode ser explicado, provavelmente, pela maior absorção e acúmulo de Ca e Mg pela AV ao longo do seu ciclo (Figuras 3d e 3e), ocasionando, assim, a maior produção de cebola na safra de 2012 (Tabela

5). Com referência aos maiores valores de pH do solo, na safra de 2012, eles podem ser explicados devido ao caráter aniônico da adição dos resíduos, que decorre da complexação dos íons H^+ e Al^{3+} no solo (PAVINATO; ROSOLEM, 2008). Em trabalho realizado por Santos et al. (2012), com objetivo de avaliar o efeito das diferentes plantas de cobertura sobre os atributos químicos em um Latossolo em SPD, os autores verificaram que a braquiária incrementou os valores de pH em água do solo após cinco anos de cultivo enquanto a cobertura com capim estilozantes causou decréscimo do valor de pH.

Na safra de 2013, os teores de COT, pH em água; Ca, Mg, Al tocáveis, P disponível, K disponível, $CTC_{pH7,0}$ e saturação por bases (V) no solo da camada de 0-10 cm, antes do transplante da cebola e após a colheita da cebola, não foram afetados pela decomposição de resíduos (Tabela 6).

Tabela 6. Teores de carbono orgânico total (COT), valores de pH em água, teores de cálcio trocável (Ca), magnésio trocável (Mg), alumínio trocável (Al), potássio trocável (K), fósforo disponível (P) e saturação da CTC_{pH7,0} e por bases (V) na camada de 0-10 cm, num Cambissolo Húmico, submetido ao cultivo de cebola com resíduos da vegetação espontânea (VE), aveia preta (AV), centeio (CE), nabo-forrageiro (NF), nabo-forrageiro+aveia preta (NF+AV) e nabo-forrageiro+centeio (NF+CE) depositados na linha de plantio da cebola.

Tratamentos	COT	pH em				P	K	CTC _{pH7,0}	V
	%	1:1	Ca	Mg	Al	mg dm ⁻³		cmole kg ⁻¹	%
2012									
Antes do transplante da cebola									
VE	2,26 ^{ns}	5,75 ^{ns}	6,53 ^{ns}	1,89 ^{ns}	0,00	107,48 ^{ns}	434,38a	13,41 ^{ns}	71,09 ^{ns}
AV	2,25	5,84	6,29	1,81	0,00	101,37	311,60b	13,25	67,10
CE	2,28	5,68	6,74	1,91	0,00	90,24	318,33b	14,08	67,26
NF	2,47	5,76	6,73	1,99	0,00	98,73	277,38b	13,70	68,88
NF + AV	2,44	5,81	6,80	1,95	0,00	94,46	303,12b	13,99	68,20
NF + CE	2,37	5,70	6,78	1,95	0,00	94,30	312,03b	13,86	68,33
CV(%)	5,19	2,29	8,29	9,80	-	21,68	15,72	5,07	8,27
Após a colheita da cebola									
VE	2,53 ^{ns}	5,89a	6,55ab	2,04a	0,00	91,14 ^{ns}	476,60 ^{ns}	14,13 ^{ns}	69,26ab
AV	2,58	5,70b	5,93b	1,76b	0,00	122,84	458,14	13,89	63,84b
CE	2,58	5,82ab	6,30ab	1,83ab	0,00	97,20	464,14	13,80	66,46ab
NF	2,53	5,85a	7,10a	2,06a	0,00	112,20	407,89	14,35	71,38a
NF + AV	2,65	5,89a	6,86a	1,94ab	0,00	100,23	433,97	14,34	67,85ab
NF + CE	2,61	5,81ab	6,44ab	1,90ab	0,00	129,84	441,59	13,56	68,75ab
CV(%)	3,81	1,50	9,30	9,29	-	6,01	19,59	6,01	5,67
2013									
Antes do transplante da cebola									
VE	2,66 ^{ns}	6,10 ^{ns}	6,70 ^{ns}	2,31 ^{ns}	0,00	156,74 ^{ns}	562,85 ^{ns}	13,81 ^{ns}	76,04 ^{ns}
AV	2,72	5,93	6,58	2,26	0,00	150,11	535,74	14,48	71,24
CE	2,38	6,09	6,58	2,26	0,00	153,06	530,76	13,40	77,40
NF	2,78	6,11	6,59	2,23	0,00	159,49	489,51	13,38	75,30
NF + AV	2,88	6,09	6,89	2,30	0,00	153,59	513,28	14,51	72,56
NF + CE	2,72	5,95	6,85	2,28	0,00	174,11	541,24	14,26	74,43
CV(%)	15,45	3,44	11,13	10,85	-	20,59	9,55	10,81	13,02
Após a colheita da cebola									
VE	1,97 ^{ns}	5,83 ^{ns}	7,20 ^{ns}	2,34 ^{ns}	0,00	74,93 ^{ns}	369,00 ^{ns}	14,88 ^{ns}	70,13 ^{ns}
AV	2,09	5,78	7,20	2,63	0,03	76,28	381,50	15,15	71,54
CE	2,01	5,85	7,03	2,38	0,00	74,36	403,50	14,71	70,89
NF	1,98	5,81	7,05	2,30	0,00	77,23	320,75	14,95	71,46
NF + AV	2,13	5,85	7,53	2,49	0,00	82,06	390,50	14,95	73,60
NF + CE	2,13	5,85	8,05	2,49	0,00	86,13	385,00	15,38	75,45
CV(%)	7,91	1,41	13,32	17,41	-	23,99	15,97	7,83	5,22

(1) Médias seguidas pela mesma letra minúscula (entre tratamentos) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e ^{ns}: Não significativo.

5.4 CONCLUSÕES

1. Os resíduos vegetais de centeio permaneceram por maior tempo na superfície do solo, com maior tempo de meia vida ($t^{1/2} = 90$ dias) ao longo do ciclo da cebola, o que aumenta sua proteção. Padrão contrário verificou-se para a vegetação espontânea, com menor $t^{1/2}$ (30 dias), o que causou a menor permanência dos resíduos vegetais e de carbono na superfície do solo.
2. O centeio e a aveia-preta proporcionaram menor liberação percentual de N, P, K, Ca e Mg até os 90 DAD dos resíduos na superfície do solo, em relação a vegetação espontânea.
3. O cultivo e a adição de matéria seca de resíduos de plantas de cobertura contribuiu para o maior rendimento da cebola.

5.5 LITERATURA CITADA

ABER, J. D. e MARTIN, M. **Leaf chemistry**, 1992-1993 (ACCP). Oak Ridge National Laboratory, TN, USA, 1999.

ARAKI, H.; HANE, S.; HOSHINO, Y.; HIRATA, T. Cover crop use in tomato production in plastic high tunnel. **Hort. Environ. Biotechnol.**, v. 50, p. 324–328, 2009.

BASAMBA, T.A.; BARRIOS, E.; AMÉZQUITA, E.; RAO, I.M. & SINGH, B.R. Tillage effects on maize yield in a Colombian savanna Oxisol: Soil organic matter and P fractions. **Soil Till. Res.**, 91:131-142, 2006.

BERG, B. e MCCLAUGHERTY, C. **Plant Litter: decomposition, humus formation, carbon sequestration**. 2. ed. Heidelberg: Springer-Verlag, 2008. 338p.

BERTOL, I.; GOBBI, E.; BARBOSA, F. T.; PAZ-FERREIRO, J.; GEBLER, L.; RAMOS, J. C.; WERNER, R. de S. Erosão hídrica em campo nativo sob diversos manejos: perdas de água e solo e de fósforo, potássio e amônio na água de enxurrada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1421–1430, 2011.

BOER, C. A.; ASSIS, R. L.; SILVA, G. P.; BRAZ, A. J. B. P.; BARROSO, A. L. de L.; FILHO, A. C.; PIRES, F. R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 9, p. 1269–1276, 2007.

BRUNETTO, G.; VENTURA, M.; SCANDELLARI, F.; CERETTA, C. A.; KAMINSKI, J.; MELO, G. W.; TAGLIAVINI, M. Nutrient release during the decomposition of mowed perennial ryegrass and white clover

and its contribution to nitrogen nutrition of grapevine. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 90, n. 3, p. 299–308, 2011.

BRUNETTO, G.; CERETTA, C. A.; MELO, G. W. B.; KAMINSKI, J.; TRENTIN, G.; GIROTTO, E.; FERREIRA, P. A. A.; MIOTTO, A.; TRIVELIN, P. C. O. Contribution of nitrogen from agricultural residues of rye to “Niagara Rosada” grape nutrition. **Scientia Horticulturae**, v. 169, p. 66–70, 2014.

BUCHANAN, M.; KING, L. Carbon and phosphorus losses from decomposing crop residues in no till and conventional till agroecosystems. **Agronomy Journal**, v. 85, p. 631–638, 1993.

CAMPIGLIA, E.; MANCINELLI, R.; RADICETTI, E. Influence of no-tillage and organic mulching on tomato (*Solanum Lycopersicum* L.) production and nitrogen use in the mediterranean environment of central Italy. **Scientia Horticulture**, v. 130, n. 3, p. 588–598, 2011.

CARDOSO, D. P.; SILVA, M. L. N.; CARVALHO, G. J.; FREITAS, D. A. F.; AVANZI, J. C. Plantas de cobertura no controle das perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 6, p. 632–638, 2012.

CARDOSO, D. P.; SILVA, M. L. N.; CARVALHO, G. J.; FREITAS, A. F.; AVANZI, J. C. Espécies de plantas de cobertura no condicionamento químico e físico do solo. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 3, p. 375–382, 2013.

CARNEIRO, M. A. C.; CORDEIRO, M. A. S.; ASSIS, P. C. R.; MORAES, E. S.; PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. **Braganti**, v. 67, n. 2, p. 455–462, 2008.

CARVALHO, A. M.; LINE, L.; SOUZA, P.; JÚNIOR, R. G. Cover plants with potential use for crop livestock integrated systems in the Cerrado region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 1, p. 1200–1205, 2011.

CASTRO, N. E. A.; SILVA, M. L. N.; FREITAS, D. A. F.; CARVALHO, G. J.; MARQUES, R. M.; NETO, G. F. G. Plantas de cobertura no controle da erosão hídrica sob chuvas naturais. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 5, p. 775–785, 2011.

CHEN, B.; LIU, E.; TIAN, Q.; YAN, C.; ZHANG, Y. Soil nitrogen dynamics and crop residues. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 34, n. 2, p. 429–442, 2014.

CORNWELL, W. K.; CORNELISSEN, J. H. C.; AMATANGELO, K.; DORREPAAL, E.; EVINER, V. T.; GODOY, O.; HOBBIE, S. E.; HOORENS, B.; KUROKAWA, H.; PÉREZ-HARGUINDEGUY, N.; QUESTED, H. M.; SANTIAGO, L. S.; WARDLE, D.; WRIGHT, I. J.; AERTS, R.; ALLISON, S. D.; VAN BODEGOM, P.; BROVKIN, V.; CHATAIN, A.; CALLAGHAN, T. V.; DÍAZ, S.; GARNIER, E.; GURVICH, D. E.; KAZAKOU, E.; KLEIN, J. A.; READ, J.; REICH, P. B.; SOUDZILOVSKAIA, N. A.; VAIERETTI, M. V.; WESTOBY, M. Plant species traits are the predominant control on litter decomposition rates within biomes worldwide. **Ecology letters**, v. 11, n. 10, p. 1065–71, 2008.

CQFS-RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. p. 404.

CRUSCIOL, C. A. C.; COTTICA, R. L.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo-forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 2, p. 161–168, 2005.

DONEDA, A.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; MIOLA, E. C. C.; GIACOMINI, D. A.; SCHIRMANN, J.; GONZATTO, R. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1714–1723, 2012.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

EPAGRI. **Sistema de produção para a cebola de Santa Catarina**. 4. ed. Florianópolis: EPAGRI, 2013. 55 p.

FERREIRA, P. A. A.; GIROTTTO, E.; TRENTIN, G.; MIOTTO, A.; MELO, G. W.; CERETTA, C. A.; KAMINSKI, J.; FRARI, B. K. D.; MARCHEZAN, C.; SILVA, L. O. S.; FAVERSANI, J. C.; BRUNETTO, G. Biomass decomposition and nutrient release from black oat and hairy vetch residues deposited in a vineyard. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1621–1632, 2014.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; HUBNER, A. P.; LUNKES, A.; GUIDINI, E.; AMARAL, E. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 1, p. 1097–1104, 2003.

GENTILE, R.; VANLAUWE, B.; KESSEL, C. V.; SIX, J. Managing N availability and losses by combining fertilizer-N with different quality residues in Kenya. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 131, n. 3-4, p. 308–314, 2009.

GUNNARSSON, S.; MARSTORP, H.; DAHLIN, A. S.; WITTER, E. Influence of non-cellulose structural carbohydrate composition on plant material decomposition in soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 45, n. 1, p. 27–36, 2008.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259–263, 2006.

MANZONI, S.; JACKSON, R. B.; TROFYMOW, J. A.; PORPORATO, A. The global stoichiometry of litter nitrogen mineralization. **Science** (New York), v. 321, p. 684–686, 2008.

MARTINS, R. P.; COMIN, J. J.; GATIBONI, L. C.; ROBERTO, C.; SOARES, F.; COUTO, R.; BRUNETTO, G. Mineralização do nitrogênio de plantas de cobertura, solteiras e consorciadas, depositadas sobre um solo com histórico de cultivo de cebola. **Revista Ceres**, v. 61, n. 4, p. 587–596, 2014.

MONEGAT, C. Manejo de plantas de cobertura do solo em pequenas propriedades. In: **Plantas de cobertura do solo: características e manejo em pequenas propriedades**. 1. ed. Chapecó: Ed. do autor, 1991. p. 146–239.

MORAES, P. V. D.; AGOSTINETTO, D.; PANOZZO, L. E.; OLIVEIRA, C.; VIGNOLO, G. K.; MARKUS, C.; Manejo de plantas de cobertura no controle de plantas daninhas e desempenho produtivo da cultura do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 2, p. 497–508, 2013.

OVALLE, C.; POZO, A.; FERNÁNDEZ, F.; CHAVARRÍA, J.; ARREDONDO, S. Arrowleaf clover (*Trifolium vesiculosum* Savi): a new species of annual legumes for high rainfall areas of the Mediterranean climate zone of Chile. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 70, p. 170–177, 2010.

PAUL, E. A. e CLARK, F. E. Dynamics of residue decomposition and soil organic matter turnover. In: **Soil microbiology and biochemistry**. 2. ed. San Diego: Academic, 1996. p. 158–179.

PAVINATO, P. S. & ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 911–920, 2008.

RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I. & KAMINSKI, J. Depletion of inorganic phosphorus fractions by successive extraction with resin in different soils and management systems. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, 24:345-354, 2000.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 355–362, 2003.

SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P. M.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; BECQUER, T. Atributos químicos e estabilidade de agregados sob diferentes culturas de cobertura em Latossolo do cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 11, p. 1171–1178, 2012.

SAS Institute Inc®. **SAS versão 9.1.3**. Cary, 2003.

SOUZA, M.; COMIN, J. J.; LEGUIZAMÓN, E. S.; KURTZ, C.; BRUNETTO, G.; JÚNIOR, V. M.; VENTURA, B.; CAMARGO, A. P. Matéria seca de plantas de cobertura, produção de cebola e atributos químicos do solo em sistema plantio direto agroecológico. **Ciência Rural**, v. 43, n. 1, p. 21–27, 2013.

TAGLIAVINI, M.; TONON, G.; SCANDELLARI, F.; QUIÑONES, A.; PALMIERI, S.; MENARBIN, G.; GIOACCHINI, P.; MASIA, A. Nutrient recycling during the decomposition of apple leaves (*Malus*

domestica) and mowed grasses in an orchard. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 118, n. 1-4, p. 191–200, 2007.

TAIZ, L. e ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 722p.

TALBOT, J. M.; YELLE, D. J.; NOWICK, J.; TRESEDER, K. K. **Litter decay rates are determined by lignin chemistry. Biogeochemistry**, v. 108, n.3, p. 279–295, 2011.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, planta e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRG, 1995. 174 p.

TEIXEIRA, M. B.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PIMENTEL, C. Decomposição e liberação de nutrientes da parte aérea de plantas de milheto e sorgo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 867–876, 2011.

TEIXEIRA, M. B.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PIMENTEL, C. Decomposição e ciclagem de nutrientes dos resíduos de quatro plantas de cobertura do solo. **Idesia**, v. 30, n. 1, p. 55–64, 2012.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J. C.; FABIAN, A. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 609–618, 2005.

TRINSOUTROT, I.; RECOUS, S.; BENTZ, B.; LINERES, M.; CHENEY, D.; NICOLARDOT, B. Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under non-limiting nitrogen conditions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 918, 2000.

WANG, G.; NGOUAJIO, M.; WARNCKE, D. D. Nutrient cycling, weed suppression, and onion yield following brassica and sorghum sudangrass cover crops. **HortTechnology**, v. 18, n. March, p. 68–74, 2008.

WALKLEY, A. e BLACK, J. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic titration method. **Soil Science**, v. 37, p. 28–29, 1934.

WIDER, R. K. e LANG, G. E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecology**, v. 63, p. 1636–1642, 1982.

6 ESTUDO II – BIODISPONIBILIDADE DAS FORMAS DE FÓSFORO EM UM CAMBISSOLO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO DE CEBOLA

RESUMO

No sistema de plantio direto de cebola o cultivo de espécies de plantas de cobertura pode modificar a distribuição de formas de P no solo. O trabalho objetivou avaliar a distribuição de formas de P após cinco anos de cultivo de cebola em um sistema de plantio direto. O experimento foi conduzido em Ituporanga (SC), em um Cambissolo Húmico. Em abril de 2009 foram implantados os seguintes tratamentos: vegetação espontânea (VE), aveia preta (AV), centeio (CE), nabo-forrageiro (NF), nabo-forrageiro+aveia preta (NF+AV) e nabo-forrageiro+centeio (NF+CE). Em julho de todos os anos, desde a implantação do experimento, todas as espécies de plantas de cobertura de inverno foram acamadas com o auxílio de um rolo-faca, sendo os resíduos depositados sobre a superfície do solo. Em agosto de 2013, cinco anos após a implantação do experimento, foram abertas trincheiras e coletadas amostras de solo estratificadas, nos respectivos tratamentos, nas camadas de 0-2,5, 2,5-5,0, 5,0-10, 10-15, 15-20 e 20-40 cm de profundidade. O solo foi preparado e submetido ao fracionamento químico de P, bem como a análise dos atributos químicos do solo. Os tratamentos com plantas de cobertura apresentaram os maiores teores de carbono orgânico total, potássio, fósforo disponível e ferro oxalato, nas camadas superficiais enquanto nas camadas mais profundas observou-se os menores teores. Os valores de P mais lábeis, em geral, foram maiores para os tratamentos com VE e CE nas camadas superficiais. As formas de P moderadamente lábeis foram maiores no solo sob VE na camada superficial e menores nos tratamentos com plantas de cobertura, indicando assim uma melhor distribuição do P no perfil do solo devido a influência do sistema radicular distinto entre estas plantas.

Termos para indexação: fracionamento químico de fósforo, plantas de cobertura, *Allium cepa*.

BIOAVAILABILITY OF MATCH FORMS IN A INCEPTISOL UNDER NO-TILLAGE ONION

SUMARY

In no-tillage cultivation of onion species of cover crops can modify the distribution of forms of P in the soil. The study aimed to evaluate the distribution of forms of P after five years of onion cultivation under no-tillage in agro-ecological system (SPD). The experiment was conducted in Ituporanga (SC), in a Inceptisol. In April 2009 the following treatments were established: shoots of weeds (WD), black oats (BO), rye (RY), oilseed radish (OR), oilseed radish+black oats (OR+BO), and oilseed radish+rye (OR+RY). In July every year since the implementation of the experiment, all kinds of winter cover crops were bedridden with the aid of a roll-knife, and the waste deposited on the soil surface. In August 2013, sixty days after the scroll of cover crops,, soil samples trenches were opened and collected laminated, in the treatments with the waste disposal of the species of cover crops, in layers of 0-2.5, 2.5 -5.0, 5.0 to 10, 10-15, 15-20 and 20-40 cm deep. The soil was prepared and submitted to chemical fractionation of P, and the analysis of other chemical soil properties. The cover crops have the highest total organic carbon, potassium, available phosphorus and iron oxalate, the upper soil layers and in the deeper layers observed the lower levels. P values more labile in general were higher for treatments with WD and RY in the surface layers. The moderately labile P forms were higher in the WD soil under the surface layer. While in treatments with cover crops noted the lower levels, thus indicating a better distribution of P in the soil profile due to the influence of different root system of these plants.

Index term: phosphorus chemical fractionation, cover crops, *Allium Cepa*.

6.1 INTRODUÇÃO

A região do Vale do Itajaí no estado de Santa Catarina tem como importante atividade agrícola e geradora de renda dos agricultores familiares a cultura da cebola (*Allium cepa*), com uma área de 22.181 ha¹ (ACATE, 2014). Esta cultura é conduzida em sua maioria sob sistema de preparo convencional (SPC) onde é potencializada a perda de solo e água, e são realizadas aplicações excessivas de fertilizantes minerais e aplicações de herbicidas para o controle de plantas espontâneas.

Como alternativa ao SPC tem sido recomendada a adoção do sistema de plantio direto (SPD) de cebola, onde espécies como aveia (*Avena strigosa*), centeio (*Secale cereale*) e nabo-forrageiro (*Raphanus sativus*) promovem a cobertura do solo, manutenção dos teores de matéria orgânica, redução da perda de água e solo e a ciclagem de nutrientes (CAMPIGLIA et al., 2011; ALTIERI et al., 2011; SOUZA et al., 2013).

No SPD os resíduos das plantas de cobertura são depositados nas entrelinhas de plantio (TIECHER et al., 2012) afetando algumas características químicas relacionadas com a acidez do solo, que pode interferir na disponibilidade de P, no crescimento das plantas e nos rendimentos das culturas (ERNANI et al., 2002).

No solo sob SPD os teores de matéria orgânica e o P acumulam-se nas camadas superficiais quando comparados com o preparo convencional (SELLES et al., 1997; DIAZ-ZANTA; GRAVE, 2002; LOSS et al. 2015), reduzindo a toxidez por Al (PAVINATO; ROSOLEM, 2008). Outros nutrientes (N, K, Ca e Mg) também se acumulam na superfície do solo sob SPD, promovendo um aumento de cargas do solo nas camadas superficiais e sorção de P. Esses efeitos são devidos ao aumento do teor de matéria orgânica e consequentemente acúmulo de P no solo sob SPD (BASSAMBA et al., 2006).

Dependendo da concentração de nutrientes e compostos recalcitrantes dos resíduos vegetais, poderá ocorrer a mudanças nas formas de P na superfície do solo (RHEINHEIMER, 2000). Ao longo do ciclo das culturas, parte do P que é absorvido e incorporado no tecido das plantas de cobertura será posteriormente mineralizado durante a sua decomposição, com consequente aumento do tempo de permanência do P no solo em formas orgânicas (BASSAMBA et al., 2006), enquanto parte do P que é mineralizado poderá ser absorvido pela cebola (SOUZA et al., 2013).

No SPD a quantidade de P liberado pelas plantas de cobertura durante a decomposição dos resíduos não é suficiente para atender a taxa de absorção diária de P da cebola, o que tem levado aos produtores a

realizarem adubações com cama de frango no momento do transplante das mudas de cebola (EPAGRI, 2013). Como a cama de frango apresenta sua quantidade de nutrientes não balanceada, provoca acúmulo de P e de K no solo, como observado por Souza et al. (2013). Dessa forma, estudos que avaliem a fertilidade em sistemas de cultivo agroecológicos tornam-se importantes para a elaboração de modelos produtivos que promovam o incremento da fertilidade do solo e supram a demanda dos cultivos. A dinâmica de P no solo e suas alterações nas diferentes formas de P pode ser estudada por meio da técnica do fracionamento químico, que utiliza sequencialmente extratores químicos que removem o P inorgânico (Pi) e orgânico (Po) do solo, das frações mais disponíveis até as mais estáveis Hedley et al. (1982).

O trabalho objetivou avaliar os atributos químicos e a distribuição de formas de P de um solo cultivado com cebola sob sistema plantio direto.

6.2 MATERIAL E MÉTODOS

6.2.1 Localização da área experimental e tratamentos

O experimento que foi implantado em 2009, em uma área cultivada por cinco anos sob SPD agroecológico de cebola, na área experimental da Empresa de Pesquisa e Extensão Agropecuária do Estado de Santa Catarina (Epagri), em Ituporanga, região do Alto Vale do Itajaí (SC) (27°22'S; 49°35'W e altitude de 475 m). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é subtropical úmido (Cfa) (KOTTEK et al., 2006), com temperatura média anual de 17,6°C e precipitação anual média de 1.400 mm. O solo foi classificado como um Cambissolo Húmico (EMBRAPA, 2013).

Na instalação, a camada de 0-10 cm do solo, apresentava as seguintes características: 380 g kg⁻¹ de argila, 14,6 g kg⁻¹ de COT, pH em água 6,0; P disponível 26,6 mg kg⁻¹ e K disponível 145,2 mg kg⁻¹ (extraídos por Mehlich-1); alumínio (Al) trocável 0,0 cmolc kg⁻¹, Ca trocável 7,2 cmolc kg⁻¹ e Mg trocável 3,4 cmolc kg⁻¹ (extraídos por KCl 1 mol L⁻¹); capacidade de troca de cátions pH 7,0 (CTC_{pH7,0}) 14,32 cmolc kg⁻¹, a CTC_{pH7,0} por bases (V) 76% e saturação da CTCefetiva por alumínio (m) 34%.

O experimento foi instalado em uma área com histórico de cultivo de cebola com o sistema de preparo convencional do solo (SPC) com aração e gradagens e sucessão com culturas anuais por 30 anos, até

1996. Em seguida foi implantado o sistema de cultivo mínimo de cebola com rotação de culturas e plantas de cobertura aveia (*Avena strigosa*), mucuna (*Mucuna aterrima*), milheto (*Pennisetum glaucum*), crotalaria (*Crotalaria juncea*), ervilhaca (*Vicia sativa*). Em abril de 2009, a vegetação espontânea da área foi dessecada e, em seguida, foi aplicado calcário e incorporado, para elevar o pH em água até 6,0. Posteriormente, em abril de 2009, foram implantados os tratamentos: testemunha com vegetação espontânea (VE) composta predominantemente por grama-estrela (*Cynodum* sp.), língua de vaca (*Rumex obtusifolius*), orelha de urso (*Stachys arvensis*), caruru (*Amaranthus lividus*), tiririca (*Cyperus* spp.), azedinha (*Oxalis corniculada*), picão preto (*Bidens pilosa*) e picão branco (*Galinsoga parviflora*); *Avena strigosa* Schreb. (120 kg ha⁻¹ de sementes) (AV); *Secale cereale* L. (120 kg ha⁻¹ de sementes) (CE); *Raphanus sativus* L. (20 kg ha⁻¹ de sementes) (NF); *Raphanus sativus* L. (10 kg ha⁻¹ de sementes) + *Secale cereale* L. (60 kg ha⁻¹ de sementes) (NF+CE); e *Raphanus sativus* L. (10 kg ha⁻¹ de sementes) + *Avena strigosa* Schreb. (60 kg ha⁻¹ de sementes) (NF+AV). As plantas de cobertura foram semeadas a lanço sobre a superfície do solo, no início do mês de abril, em todos os anos desde a implantação do experimento em 2009. A quantidade de sementes utilizadas por hectare foram os valores mais elevados da recomendação proposta por Monegat (1991) e acrescidos de 50% deste valor. No verão de todos os anos, todas as parcelas foram semeadas com mucuna preta (*Mucuna aterrima*) que permaneceu sem manejo no verão para redução do banco de sementes de plantas espontâneas. A mucuna preta foi acamada antes da semeadura das espécies de plantas de cobertura de inverno.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com oito repetições. Cada unidade experimental possuía 5 x 5 m (25 m²).

Em julho de todos os anos, todas as espécies de inverno foram acamadas com o auxílio de um rolo-faca (modelo RF240, MBO Ltda), para a deposição dos resíduos sobre a superfície do solo. Em seguida, foram aplicados, sem incorporação, na superfície do solo 42 kg de P ha⁻¹, na forma de fosfato natural de Gafsa; 104 kg de K ha⁻¹, 160 kg de N ha⁻¹ e 39 kg ha⁻¹ na forma de cama de frango na superfície do solo; sendo metade aplicada no transplante das mudas e o restante 30 dias após o transplante das mudas de cebola. A partir da safra de 2011, não foi aplicado fosfato natural, pois, os teores foram interpretados como muito alto, conforme a Comissão de Química e Fertilidade do Solo do RS e SC (CQFS RS/SC, 2004). A caracterização da cama de frango utilizada no ano de 2011 está apresentada no Tabela 7.

Tabela 7. Caracterização química da cama de frango no ano de 2011.

Atributos químicos	Unidade	Teores
pH*	-	7,9
Umidade	%	14,15
P	%	2,49
K	%	2,25
Ca	%	3,31
Mg	%	0,35
N	%	3,54
Cu	%	0,019
Zn	%	0,047
Fe	%	1,853
Mn	%	0,080

*pH extraído por CaCl_2 (1:1).

Posteriormente à aplicação da cama de frango foram abertos sulcos de 2 x 5 cm (largura x profundidade) usando uma máquina de cultivo mínimo adaptada onde foram transplantadas manualmente as mudas de cebola, cv. ‘Empasc 352’ - Bola Precoce. O espaçamento usado foi 0,50 m nas entrelinhas e 0,10 m entre plantas, de forma que cada parcela possuía 10 linhas de cebola, totalizando 500 plantas por parcela. Foram realizadas capinas aos 60 e 90 dias após o plantio das mudas de cebola para diminuir o estande de plantas espontâneas. Os procedimentos descritos foram repetidos durante os cinco anos de condução do experimento.

6.2.2 Coleta do solo, análise de atributos químicos e fracionamento químico de fósforo

Em agosto de 2013, 60 dias após a rolagem das plantas de cobertura foi aberta uma trincheira com dimensão de 40 x 40 x 40 cm em cada parcela e coletadas amostras estratificadas nas camadas de 0-2,5, 2,5-5,0, 5,0-10, 10-15, 15-20 e 20-40 cm de profundidade. Em seguida, o solo foi seco ao ar, moído, passado em peneira com malha de 2 mm e reservado em duas partes. A primeira parte do solo foi submetida às análises químicas (Tabela 8). Assim, foi analisada a granulometria dos constituintes do solo pelo método da pipeta EMBRAPA (1997). Na camada de 0-5,0; 5,0-10; 10-15 e 15-20 cm os teores médios de argila foram de 302,40; 333,84; 316,49 e 358,52 g kg⁻¹, respectivamente, os teores médios de silte foram de 204,11; 193,15; 204,93 e 178,36 g kg⁻¹, já os teores de areia foram de 493,48; 473,01; 478,58 e 463,12 g kg⁻¹, respectivamente. Além disso, foram determinados os valores de pH em água (1:1); os teores trocáveis de Al, cálcio (Ca) e magnésio (Mg)

(extraídos por KCl 1 mol L⁻¹) e K disponível e P disponível (extraído por Mehlich-1) (TEDESCO et al., 1995).

Os teores de COT foram determinados por oxidação úmida com dicromato de potássio, pelo método de Walker-Black modificado (TEDESCO et al., 1995). Também foram determinados os teores de Fe extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) (Fe_d) (MEHRA; JACKSON, 1958) e por oxalato de amônio (Fe_o) (TEDESCO et al., 1995). Com os dados obtidos foram calculados os valores de H+Al, com equação proposta por KAMINSKI et al. (2001) e adotada pela CQFS-RS/SC (2004). A capacidade de troca de cátions a pH_{7,0} (CTCpH_{7,0}) e a capacidade de troca de cátions efetiva (CTC_{efetiva}), a CTCpH_{7,0} foram calculadas pelas equações estabelecidas pela CQFS-RS/SC (2004). Também foi calculada a relação do teor de Fe_o/Fe_d que expressa o grau qualitativo de cristalinidade dos óxidos (PEREIRA; ANJOS, 1999; JUNIOR; KAMPF, 2003).

A segunda parte do solo reservado foi submetida ao fracionamento químico de P, conforme metodologia proposta por Hedley et al. (1982), com modificações propostas por Condron et al. (1985), descrita resumidamente a seguir: amostras de 0,5 g de solo seco foram submetidas à extração sequencial com placas de resina trocadora de ânions AR 103 QDP 434 (Pi_{RTA}) em 10 ml de água destilada, bicarbonato de sódio (NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹) (Pi_{bic} e Po_{bic}), NaOH 0,1 mol L⁻¹ (Pi_{hid} e Po_{hid}), HCl 1,0 mol L⁻¹ (Pi_{HCl}) e NaOH 0,5 mol L⁻¹ (Pi_{hid05} e Po_{hid05}). Após as extrações em 16 horas de agitação, o solo remanescente foi seco em estufa e submetido à digestão com H₂SO₄ + H₂O₂ + MgCl₂ (P_{residual}), conforme descrito por Gatiboni (2003).

O P inorgânico (Pi) dos extratos alcalinos de NaHCO₃ e NaOH foi determinado pelo método proposto por Dick e Tabatabai (1977). Nesses extratos alcalinos, o P total foi determinado por digestão com persulfato de amônio + ácido sulfúrico, em autoclave, sendo o P orgânico (Po) obtido pela diferença entre P total e o Pi. O P dos extratos ácidos foi determinado segundo Murphy e Riley (1962). As formas de P do fracionamento de Hedley foram agrupadas em P geoquímico e biológico (CROSS; SCHLESINGER, 1995). O P geoquímico corresponde a soma das frações inorgânicas mais o P residual (Pi_{RTA} + Pi_{bic} + Pi_{hid} + Pi_{hid05} + Pi_{HCl} + P_{residual}) e o P biológico é a soma das formas orgânicas (Po_{bic} + Po_{hid} + Po_{hid05}).

6.2.3 Análise estatística

Os dados dos teores de P obtidos pelo fracionamento químico das amostras de solo e os teores dos atributos químicos do solo foram submetidos à análise de variância, e quando os efeitos foram significativos, as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Posteriormente, os dados das frações de P foram submetidos à análise de componentes principais (SAS, 2003).

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.3.1 Atributos químicos do solo

Foram observadas diferenças significativas para os teores de COT, K^+ , P_{Mel} , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Fe_o do solo entre as camadas de solo em cada tratamento (VE, AV, CE, NF, NF+AV e NF+CE), enquanto os valores de pH do solo apresentaram diferença significativa apenas para o solo cultivado sob NF (Tabela 8).

Na camada de solo de 0-2,5 cm sob VE foram observados os maiores teores de P_{Mel} ($31,8 \text{ g kg}^{-1}$), Ca^{2+} ($8,44 \text{ g kg}^{-1}$), Mg^{2+} ($5,81 \text{ g kg}^{-1}$) e Fe_o ($2,94 \text{ g kg}^{-1}$) quando comparado às demais camadas. Os teores de COT e K^+ foram maiores na camada de 0-2,5 e 2,5-5,0 cm (Tabela 8), diferenciando das demais camadas. Esses resultados estão de acordo com Souza et al. (2013) que também observaram os maiores teores de P_{Mel} , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e COT, devido à maior liberação e acúmulo de nutrientes na camada superficial do solo.

Em geral, nos tratamentos com adição de resíduos de AV, CE, NF, NF+AV e NF+CE os maiores teores de COT, K^+ , P_{Mel} e Fe_o foram encontrados nas camadas de 0-2,5 e 2,5-5,0 cm de profundidade (Tabela 8). Isso provavelmente pode estar relacionado com a maior deposição de resíduos e maior translocação de nutrientes de camadas mais profundas (5-40 cm) para a superfície do solo, sendo esta promovida pelas plantas de cobertura que, após sua deposição, aumenta a atividade microbiana, o acúmulo de nutrientes e de MO nas camadas superficiais do solo (LOSS et al., 2015).

Tabela 8. Atributos químicos de um Cambissolo Húmico cultivado com cebola sob sistema de plantio direto e manejo de plantas de cobertura após cinco anos e em seis camadas na região do Vale do Itajaí estado de Santa Catarina.

anos e em seis camadas na região do Vale do Itajaí estado de Santa Catarina.													Continuação...		
	Camadas	COT ⁽¹⁾	pH ⁽²⁾	K ⁽³⁾	P _{Mel} ⁽⁴⁾	Ca ⁺² ⁽⁵⁾	Mg ⁺² ⁽⁶⁾	Al ⁺³ ⁽⁷⁾	H+Al ⁽⁸⁾	CTC _{pH7,0} ⁽⁹⁾	CTC ⁽¹⁰⁾	V ⁽¹¹⁾	Fe _d ⁽¹²⁾	Fe _o ⁽¹³⁾	Fe _d / Fe _o
	cm	g kg ⁻¹	em	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	cmol _c	%	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	
VE	0-2,5	31,80 a	5,09 ^{ns}	593,15 a	165,63 a	8,44 a	5,81 a	0,00	12,71 ^{ns}	22,73 ^{ns}	15,37 a	15,32 ^{ns}	20,28 ^{ns}	2,94 a	0,14
	2,5-5,0	27,23 a	5,38	487,71 a	141,65 b	5,22 b	3,81 b	0,00	7,11	15,32	9,50 b	58,80	25,23	2,47 ab	0,10
	5,0-10	20,83 b	5,52	379,59 ab	83,68 c	4,13 b	3,22 b	0,00	11,24	18,88	8,82 b	47,46	23,06	1,97 bc	0,09
	10-15	21,17 bc	5,74	238,28 bc	41,18 d	3,13 bc	2,78 b	0,00	5,42	14,09	6,29 b	54,76	20,35	2,02 bc	0,10
	15-20	18,90 bc	5,35	140,81 c	16,74 e	2,99 bc	2,61 b	0,00	12,14	20,39	6,75 b	36,92	22,65	1,86 bc	0,08
	20-40	15,33 c	5,18	107,03 c	1,44 e	1,15 c	1,48 c	0,00	8,43	15,40	3,03 c	40,10	19,60	1,33 c	0,07
CV (%)	-	9,11	6,05	23,34	7,23	20,86	13,16	-	41,30	28,71	15,58	18,64	11,34	9,18	
AV	0-2,5	33,73 a	6,38 ^{ns}	641,58 a	136,27 a	7,18 ^{ns}	5,12 ^{ns}	0,00	3,00 a	16,94 ^{ns}	13,94 ^{ns}	32,20 ^{ns}	15,98 ^{ns}	3,25 a	0,20
	2,5-5,0	27,53 b	6,53	491,60 a	111,47 a	7,40	5,32	0,00	2,68 a	16,65	13,98	81,28	17,28	2,75 ab	0,16
	5,0-10	20,23 c	6,10	298,37 b	49,24 b	6,79	5,14	0,00	2,59 a	15,04	12,44	77,12	18,50	1,92 bc	0,10
	10-15	17,40 cd	4,51 a	224,25 bc	35,39 b	9,67	6,34	0,00	2,56 a	18,29	16,58	84,64	17,17	1,68 bc	0,10
	15-20	17,77 cd	6,39	145,00 bc	7,71 b	6,72	5,32	0,00	2,68 a	15,09	12,41	75,65	19,54	1,69 bc	0,09
	20-40	12,00 d	6,48	60,39 c	1,31 b	6,52	5,20	0,00	3,15 a	15,02	11,88	72,01	18,31	1,16 c	0,06
CV (%)	10,18	25,67	18,35	31,04	23,4	9,11	-	13,98	15,04	16,59	5,69	10,00	13,97		
CE	0-2,5	28,43 a	5,91 ^{ns}	630,22 a	144,88 a	5,42 ^{ns}	3,49 ^{ns}	0,00	4,54 ^{ns}	11,74 ^{ns}	8,72 ^{ns}	75,79 ^{ns}	16,43 ^{ns}	4,03 a	0,25
	2,5-5,0	24,07 ab	6,14	492,69 b	77,15 b	5,40	4,09	0,00	4,87	15,19	10,33	68,31	18,26	2,41 ab	0,13
	5,0-10	18,90 bc	6,01	357,86 c	48,2 bc	4,96	3,94	0,00	4,45	14,27	9,82	69,06	19,18	1,82 ab	0,09
	10-15	15,63 c	6,05	220,94 d	26,62 bc	5,46	4,32	0,00	3,88	14,22	10,34	71,29	17,19	1,63 b	0,09
	15-20	14,13 c	6,04	149,18 de	8,43 d	4,86	3,97	0,00	4,98	14,19	9,20	62,52	21,67	1,56 b	0,07
	20-40	14,30 c	6,51	62,18 e	1,12 d	6,12	4,19	0,00	3,80	14,26	10,46	69,50	19,24	1,07 b	0,06
CV (%)	-	9,84	4,01	13,12	24,12	9,53	14,13	-	21,20	22,45	21,28	7,31	10,66	26,89	

⁽¹⁾ COT: Carbono orgânico total medido pelo método descrito por Walker-Black (1934); ⁽²⁾ pH em água determinado em solo:água (1:1) (peso/volume) (TEDESCO et al., 1995); ⁽³⁾ K disponível extraído por Mehlich 1 (TEDESCO et al., 1995); ⁽⁴⁾ P_{Mel} disponível extraído por Mehlich 1 (TEDESCO et al., 1995); ⁽⁵⁾ Ca, ⁽⁶⁾ Mg e ⁽⁷⁾ Al⁺³ extraído com 1 M de KCl (TEDESCO et al 1995); ⁽⁸⁾ H+Al = $e^{10,665-1,1483 \cdot \text{pHSMPT}10}$, calculado segundo Kaminski et al. (2001); ⁽⁹⁾ CTC_{pH7,0} = H + Al + (Ca²⁺+Mg²⁺+K⁺); ⁽¹⁰⁾ CTC_{efetiva} = Ca²⁺+Mg²⁺+K⁺+Na+Al⁺; ⁽¹¹⁾ V = (Ca²⁺+Mg²⁺+K⁺+Ca) x 100/CTC_{pH7,0}; ⁽¹²⁾ Fe_d extraído por ditionito-citrato bicarbonato (MEHRA & JACSON, 1960); ⁽¹³⁾ Fe_o extraído por oxalato de amônio (TEDESCO et al. 1995). ^{ns}: não significativo.

Tabela 8. Atributos químicos de um Cambissolo Húmico cultivado com cebola sob sistema de plantio direto e manejo de plantas de cobertura após cinco anos e em seis camadas na região do Vale do Itajaí estado de Santa Catarina.

	Camadas	COT ⁽¹⁾	pH ⁽²⁾	K ⁺⁽³⁾	P _{Mel} ⁽⁴⁾	Ca ⁺²⁽⁵⁾	Mg ⁺²⁽⁶⁾	Al ⁺³⁽⁷⁾	H+Al ⁽⁸⁾	CTC _{pH7,0} ⁽⁹⁾	CTC ⁽¹⁰⁾	V ⁽¹¹⁾	Fe _d ⁽¹²⁾	Fe _o ⁽¹³⁾	Fe _o /Fe _d
	cm	g kg ⁻¹	em	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	%	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	
NF	0-2,5	39,03 a	6,32 a	731,87 a	139,42 a	7,76 ^{ns}	4,79 ^{ns}	0,00	3,20 ^{ns}	17,62 ^{ns}	14,42 ^{ns}	34,81 ^{ns}	18,03 ^{ns}	2,56 a	0,14
	2,5-5,0	24,97 b	6,40 ab	623,54 a	90,22 b	6,87	4,81	0,00	3,26	16,54	13,28	80,49	20,44	2,27ab	0,11
	5,0-10	19,53 bc	6,32 ab	318,40 b	55,24 c	6,04	4,36	0,00	3,57	14,78	11,22	75,49	18,03	,74 abc	0,10
	10-15	17,47 bc	6,43 b	221,53 b	23,98 d	7,12	4,72	0,00	3,22	15,63	12,41	76,20	16,37	1,45 bc	0,09
	15-20	16,17 bc	6,17 b	132,74 b	12,35 d	5,81	4,35	0,00	3,93	14,43	10,50	68,44	22,98	1,24 c	0,05
	20-40	11,97 c	6,68 b	81,02 b	0,92 d	6,71	4,36	0,00	3,44	11,02	7,59	47,62	17,80	1,37 c	0,08
CV (%)	-	20,01	1,86	29,81	16,91	13,73	8,90	-	20,28	23,57	26,32	3,94	11,77	11,08	
NF + AV	0-2,5	41,50 a	5,70 ^{ns}	632,01 a	156,65 a	4,77 ^{ns}	3,90 ^{ns}	0,00	7,05 ^{ns}	17,33 ^{ns}	10,28 ^{ns}	53,16 ^{ns}	18,61 ^{ns}	3,57 a	0,19
	2,5-5,0	25,30 b	5,84	475,16 ab	86,66 b	4,67	3,90	0,00	5,82	15,60	9,78	65,46	21,45	2,35 ab	0,11
	5,0-10	19,50 b	5,72	323,78 bc	63,67 bc	4,92	3,91	0,00	6,14	15,81	9,66	62,60	20,82	2,00 b	0,10
	10-15	18,77 b	5,77	200,61 cd	29,19 cd	4,24	3,83	0,00	5,63	14,21	8,58	60,50	19,13	1,80 b	0,09
	15-20	16,87 b	5,70	181,47 cd	9,25 d	4,71	3,92	0,00	7,66	16,76	9,10	54,27	23,56	1,65 b	0,07
	20-40	12,60 b	5,87	68,46 e	2,14 d	5,93	4,07	0,00	5,04	15,21	10,17	64,93	17,77	1,07 b	0,12
CV (%)	-	20,45	4,89	18,30	28,99	22,02	8,10	-	24,76	13,96	14,67	10,03	15,21	16,20	
NF + CE	0-2,5	36,07 a	5,64 ^{ns}	656,53 a	145,56 a	9,28 a	6,36 a	0,00	7,90 ^{ns}	22,52 a	17,05 a	53,64 ^{ns}	17,95 ^{ns}	4,43 a	0,25
	2,5-5,0	25,13 b	5,61	494,49 ab	87,16 b	7,81 ab	5,22 ab	0,00	6,41	19,91 ab	13,41 ab	56,80	18,49	2,47ab	0,13
	5,0-10	20,53 b	5,56	369,53 bc	49,45 bc	5,70 bc	4,01 bc	0,00	7,02	18,27 abc	11,15 b	47,69	20,96	1,86 b	0,09
	10-15	19,00 b	5,69	205,09 cd	32,17 cd	3,48 cd	2,47 cd	0,00	5,85	12,29 bcd	6,21 c	55,64	17,72	1,77 b	0,10
	15-20	17,57 b	5,38	127,96 d	11,84 d	2,16 d	2,54 cd	0,00	8,83	14,48 cd	5,75 c	60,87	22,11	1,59 b	0,07
	20-40	19,80 b	5,86	67,27 d	1,45 d	1,24 d	1,51 d	0,00	5,70	10,94 d	3,13 c	79,03	21,14	1,21 b	0,06
CV (%)	-	12,92	3,10	19,16	21,36	16,94	21,68	-	20,29	14,69	13,81	20,12	14,80	24,24	

⁽¹⁾ COT: Carbono orgânico total medido pelo método descrito por Walker-Black (1934); ⁽²⁾ pH em água determinado em solo:água (1:1) (peso/volume) (TEDESCO et al., 1995); ⁽³⁾ K disponível extraído por Mehlich 1 (TEDESCO et al., 1995); ⁽⁴⁾ P_{Mel} disponível extraído por Mehlich 1 (TEDESCO et al., 1995); ⁽⁵⁾ Ca, ⁽⁶⁾ Mg e ⁽⁷⁾ Al³⁺ extraído com 1 M de KCl (TEDESCO et al 1995); ⁽⁸⁾ H+Al = $e^{10,665-1,1483 \cdot \text{pHSM} \cdot 10}$, calculado segundo Kaminski et al. (2001); ⁽⁹⁾ CTC_{pH7,0} = H + Al + (Ca²⁺+Mg²⁺+K⁺); ⁽¹⁰⁾ CTC_{efetiva} = Ca²⁺+Mg²⁺+K⁺+Na+Al³⁺; ⁽¹¹⁾ V = (Ca²⁺+Mg²⁺+K⁺+Ca) x 100/CTC_{pH7,0}; ⁽¹²⁾ Fe_d extraído por ditionito-citrato bicarbonato (MEHRA & JACSON, 1960); ⁽¹³⁾ Fe_o extraído por oxalato de amônio (TEDESCO et al, 1995). ^{ns}: não significativo.

6.3.2 Fracionamento de fósforo no solo

A avaliação de P disponível para as plantas é fundamental para a sua recomendação em solos enriquecidos, como são os Cambissolos cultivados com cebola no Vale do Itajaí-SC. Aliado a isso, segundo FIXEN; GROVE, (1990), ao longo dos anos de cultivo podem ocorrer transformações nas formas químicas de P alterando a sua dinâmica no solo para as plantas ao longo dos anos.

As primeiras frações (P_{iRTA} , $Pi-NaHCO_3$ e $Po-NaHCO_3$) extraídas pelo método proposto por HEDLEY et al., (1982), são frações de fósforo consideradas mais lábeis, estando prontamente disponíveis para absorção pelas plantas. Após ciclo das plantas de cobertura (60 dias após a rolagem), independente do tratamento avaliado, foi observado um acúmulo dos teores de P_{iRTA} , $Pi-NaHCO_3$ e $Po-NaHCO_3$ nas camadas mais superficiais do solo, decrescendo com o aumento da profundidade (Tabela 9). Este resultado era esperado em virtude da aplicação superficial dos adubos fosfatados e a ausência de revolvimento do solo. Adicionalmente, isso se deve a maior disponibilidade de P na superfície do solo que pode estar relacionada com a competição pelos sítios de sorção de P devido à maior quantidade pelos ânions orgânicos acumulados no solo na superfície do solo sob SPD (ZAMUNER et al., 2008). Isso se explica pelo fato da quantidade de ácidos orgânicos liberados durante o processo de decomposição das plantas de cobertura, cama de frango e da decomposição da matéria orgânica do solo constituída por resíduos de raízes ou exsudatos de fungos que promovem reações de troca com sesquióxidos, liberando moléculas de fosfato na solução do solo, que posteriormente podem ser utilizadas pelas plantas (HALL et al., 2010), no caso pela cebola. Contudo, é importante ressaltar que os teores de P_{iRTA} encontrados nas camadas superficiais do solo (0-15 cm) estão presentes em excesso, sendo o limite crítico estabelecido de 40 mg dm^{-3} (CQFS, 2004).

O solo sob a vegetação espontânea (VE) e centeio (CE) apresentou, os maiores teores de P_{iRTA} na camada superficial do solo (0-2,5 cm) em comparação aos demais tratamentos, enquanto na camada de 2,5-5,0 cm o maior teor de P extraído pela resina trocadora de ânions foi obtido apenas no solo sob VE (Tabela 9). Ao avaliar os teores de P_{iRTA} na camada 10-15 cm, verifica-se que o solo com CE apresentou resultados superiores aos obtidos no solo com VE, NF e NF+CE. Na camada subsequente (15-20 cm) o comportamento foi semelhante, sendo que o solo com VE e CE apresentou teores mais elevados de P_{iRTA} em relação aos tratamentos com AV, NF+AV e NF+CE (Tabela 9). Adicionalmente,

na camada de 20-40 cm, houve apenas diferença nos teores de P_{RTA} entre o solo sob VE em relação à AV, sendo esta inferior.

Os altos teores de P_{RTA} no solo com VE pode estar relacionado à rápida decomposição dos resíduos vegetais na superfície do solo e aos sistemas radiculares destas espécies explorarem uma pequena área de solo, se restringindo às camadas superficiais. Ao mesmo tempo, a maior exploração do sistema radicular no solo pelas plantas de cobertura em relação à vegetação espontânea acarreta em uma maior absorção de P no perfil do solo devido às diferentes estratégias de obtenção de P pelas plantas (TIECHER, 2011), o que pode ter contribuído para redução dos teores disponíveis, principalmente no solo cultivado com plantas de cobertura. Adicionalmente, as mudanças nos teores de P_{RTA} no solo sob CE se deve à liberação de P acumulado no tecido ($5,70 \text{ g kg}^{-1}$) durante a decomposição dos resíduos vegetais na superfície do solo (ALAMGIR et al., 2012).

Ao avaliar os teores de fósforo inorgânico extraídos por bicabornato de sódio (P_{bic}), o solo com VE apresentou na camada de 0-2,5 cm os maiores resultados em comparação às demais plantas de cobertura (Tabela 9). Na camada de 2,5-5,0 cm apenas foi encontrado diferença entre os teores obtidos no solo sob AV em relação à CE. A partir da camada de 5 cm não houve diferenças entre os solos dos tratamentos avaliados, sendo apenas encontradas diferenças na camada de 20-40 cm, onde o solo sob VE apresentou maior teor de P extraído pelo bicarbonato de sódio em relação à NF. A redução dos teores de P_{bic} na camada mais superficial do solo, sendo esta uma fração considerada lábil e disponível à absorção pelas plantas, pode sugerir um maior aproveitamento desta fração pelas plantas de cobertura em comparação à VE (TIECHER, 2011).

Os teores de fósforo orgânico extraídos por bicarbonato de sódio (P_{bic}) no solo foram iguais em todas as camadas avaliadas, com exceção da camada de 10-15 cm, onde o teor de P_{bic} foi maior no solo com CE em relação à AV e NF+AV (Tabela 9). Estes resultados foram semelhantes aos obtidos por Gatiboni et al., (2008) e Ceretta et al., (2010) que avaliaram as formas de P em solos submetidos a doses crescente de dejetos suíno líquido. Esses autores não observaram aumento nos teores de P_{bic} no solo mesmo com o aumento da dose de dejetos, atribuindo este resultado ao fato que esta fração está associada a compostos orgânicos de fácil decomposição, regulando a atividade microbiana do solo, o que dificulta o incremento desta forma de P no solo, pois é rapidamente mineralizada.

Isso provavelmente se explica devido ao aumento no teor de COT do solo e de P, consequentemente de matéria orgânica, e à maior deposição de resíduos no solo na camada superficial do SPD, que resulta em maiores transformações de P inorgânico em P orgânico. Conte et al. (2003) sugerem que o aumento das reações biológicas na camada superficial do solo do SPD, como observado por Rheinheimer e Anghinoni (2003), pode ocorrer devido à dinâmica do P em solos com a decomposição de resíduos de plantas de cobertura em sistema de plantio direto e, possivelmente, devido à maior solubilização de P e absorção pelas raízes e microrganismos.

Tabela 9. Frações de P inorgânico extraídas por resina trocadora de ânions (P_{iRTA}) e $NaHCO_3$ (P_{oHic}) e P orgânico extraído por $NaHCO_3$ (P_{oHic}), em um Cambissolo Húmico cultivado com cebola sob sistema de plantio direto e manejo de plantas de cobertura após cinco anos e em seis camadas na região do Vale do Itajaí estado de Santa Catarina.

Frações de P	Camadas	VE	AV	CE	NF	NF+AV	NF+CE	CV (%)
	cm				mg kg ⁻¹			
Pi RTA (P_{iRTA})	0-2,5	160 a ¹ A ²	132 aB	161 aA	134 aB	118 aB	132 aB	6,5
	2,5-5,0	136 bA	121 aB	113 bBC	113 bBC	100 aBC	118 aB	4,3
	5,0-10	94 cA	89 bA	92 bcA	69 cA	79 bcA	90 bA	13,3
	10-15	44 dB	54 cAB	71 cA	47 dB	54 cAB	49 cB	14,2
	15-20	36 dA	22 dC	37 dA	33 dAB	25 dBC	22 dC	13,3
	20-40	5 eA	3 dB	3 eAB	4 eAB	4 dAB	3 eAB	16,3
	CV (%)	7,5	10,9	10,2	8,7	14,6	7,9	-
Pi - $NaHCO_3$ 0,5 mol L ⁻¹ (P_{iHic})	0-2,5	43 a ¹ A ²	33 aB	26 aBC	21 aC	26 aCB	27 aCB	10,5
	2,5-5,0	24 bAB	28 aA	18 abB	20 aAB	23 abAB	20 abAB	12,4
	5,0-10	18 cbA	20 bA	20 abA	23 aA	21 abA	19 abcA	13,6
	10-15	17 cbA	14 bcA	19 bcA	16 abA	19 bA	15 bcdA	19,8
	15-20	13 cA	13 bcA	13 cdA	11 cbA	10 cA	12 cdA	16,3
	20-40	12 cA	7 cAB	8 dAB	6 cB	8 cAB	10 dAB	22,7
	CV (%)	14,4	13,4	14,3	18,1	11,2	17,0	-
Po - $NaHCO_3$ 0,5 mol L ⁻¹ (P_{oHic})	0-2,5	107 a ¹ A ²	83 aA	90 aA	97 aA	102 aA	97 aA	13,6
	2,5-5,0	83 abA	76 abA	90 aA	90 aA	85 aA	85 aA	13,4
	5,0-10	82 abA	74 abA	88 aA	88 aA	74 abA	79 aA	11,5
	10-15	60 cbA	52 bA	46 bA	53 bA	49 cbA	46 bA	25,1
	15-20	43 cAB	23 cB	45 bA	25 cAB	23 cdB	31 bcAB	23,8
	20-40	8 dA	7 cA	7 cA	6 cA	7 dA	7 cA	37,4
	CV (%)	16,5	18,0	19,0	14,6	19,3	16,0	-

⁽¹⁾⁽²⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna entre as camadas do solo para o mesmo extrator e maiúscula na linha entre as diferentes plantas de cobertura e na mesma profundidade não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade.

As primeiras frações de P moderadamente lábeis são extraídas por NaOH 0,1 mol L⁻¹, na forma inorgânica (P_{iHid}) e orgânica (P_{oHid}). A primeira está relacionada com as formas de Pi adsorvidos pelos óxidos de Fe e Al e argilominerais (HEDLEY et al., 1982), possivelmente formando compostos de esfera interna moderadamente adsorvido (MEURER et al., 2004), bem como formas precipitadas com Fe e Al com diferentes graus de cristalização, o P_{oHid} está relacionado com o Po adsorvido a esses

minerais secundários e compondo as frações húmicas, principalmente associados aos ácidos fúlvicos e húmicos (LINQUIST et al., 1997). Os efeitos das plantas de cobertura nas frações de P_{hid} e P_{ohid} são apresentadas na Tabela 10.

A presença das diferentes espécies de planta de cobertura promoveu poucas alterações nos teores de P_{hid} , sendo observadas mudanças apenas nas camadas 0-2,5 e 10-15 cm entre os tratamentos. Na camada mais superficial (0-2,5 cm) do solo com VE verificou-se teor mais elevado de P_{hid} em comparação aos tratamentos CE, NF, NF+AV e NF+CE. Adicionalmente, na camada de 10-15 cm, os maiores teores de P_{hid} foram encontrados no solo sob AV, CE e NF, enquanto o mais baixo em NF+AV.

Os teores de P_{ohid} no solo não apresentaram variação significativa entre os tratamentos avaliados nas camadas de 0-2,5, 2,5-5,0, 5,0-10 cm (Tabela 10). Já na camada de 10-15 cm o maior teor de P_{ohid} foi observado no solo sob NF+CE. No entanto, na camada de 15-20 cm, o maior teor de P_{ohid} foi encontrado no solo sob CE, NF, NF+AV e NF+CE (Tabela 10).

Posteriormente, na sequência do fracionamento químico que compõem o fósforo moderadamente lábil, são extraídas pelo NaOH 0,5 mol L⁻¹ as formas inorgânica (P_{hid05}) e orgânica (P_{ohid05}). Elas são relacionadas às mesmas formas de Pi e Po extraídas pelo NaOH 0,1 mol L⁻¹, mas com maior grau de estabilidade, devido a uma interação química de ligações mais específicas e estáveis com os óxidos de Fe e Al e os argilominerais, possivelmente bidentados (PARFITT, 1978), ou estabilidade física, por estarem presentes dentro dos agregados do solo (CONDRON et al., 1985; CROSS e SHLESINGER, 1995).

Em todas as camadas do solo, independentemente do tipo de planta de cobertura utilizada, não houve diferenças entre os tratamentos para a forma de P_{hid05} (Tabela 10). Isso provavelmente pode estar relacionado com as maiores quantidades de Fe_o nas camadas superficiais do solo com a adição via cama de frango, e ao maior índice de cristalinidade de ferro nas camadas superficiais (Tabela 8), o que favorece a fixação do P, sendo dificilmente absorvido pelas plantas de cobertura e pela cebola.

Em relação aos teores de P_{ohid05} , foram observadas diferenças entre os tratamentos apenas na camada de 10-15 cm, onde o solo com NF apresentou um teor mais elevado que o solo cultivado com AV e NF+CE. Este maior teor de P pode estar relacionado com a maior estabilidade de compostos que contém Po e agregados do solo. Isso se explica devido o NF promover um incremento nos atributos físicos até a camada de 15 cm do solo (LOSS et al., 2015).

Tabela 10. Fósforo inorgânico e orgânico extraído por NaOH 0,1 mol L⁻¹ (Pi_{hid} e Po_{hid}) e NaOH 0,5 mol L⁻¹ (Pi_{hid05} e Po_{hid05}) em um Cambissolo Húmico cultivado com cebola sob sistema de plantio direto e manejo de plantas de cobertura após cinco anos e em seis camadas na região do Vale do Itajaí estado de Santa Catarina.

Frações de P	Camadas	VE	AV	CE	NF	NF + AV	NF + CE	CV(%)
	cm				mg kg ⁻¹			
Pi-NaOH 0,1 mol L ⁻¹ (Pi _{hid})	0-2,5	411 a ¹ A ²	368 aAB	328 aB	330 aB	339 aB	330 aB	6,2
	2,5-5,0	316 bA	311 abA	328 aA	310 aA	256 bA	310 aA	14,9
	5,0-10	259 bA	316 abA	306 abA	286 abA	246 cbA	284 aA	11,3
	10-15	236 bCD	277 bAB	286 abA	260 abABC	218 cbD	238 aBCD	5,8
	15-20	229 bA	244 bA	238 bcA	230 bA	237 cbA	234 aA	5,3
	20-40	244 bA	269 bA	269 cA	232 bA	210 cA	239 aA	10,8
	CV(%)	12,0	9,4	5,9	10,4	5,9	13,7	-
Po-NaOH 0,1 mol L ⁻¹ (Po _{hid})	0-2,5	244 a ¹ A ²	178 aA	192 aA	229 aA	387 aA	192 aA	45,8
	2,5-5,0	178 bA	218 abA	180 aA	179 abA	190 aA	338 aA	47,9
	5,0-10	128bcA	127 bA	172 aA	199 abA	179 aA	300 aA	55,4
	10-15	113bcB	127 bB	143 aB	153 abB	137 aB	433 aA	22,9
	15-20	111 bcB	119 bB	137 aA	164 abA	140 aA	234 aA	23,5
	20-40	113 bcA	116 bA	117 aA	114 bA	100 aA	178 aA	19,8
	CV(%)	16,0	17,4	19,81	21,5	59,3	62,3	-
Pi-NaOH 0,5 mol L ⁻¹ (Pi _{hid05})	0-2,5	106 a ¹ A ²	107 aA	91 aA	102 abA	98 aA	107 aA	14,0
	2,5-5,0	100 abA	101 aA	94 aA	104 aA	91 aA	96 abA	19,7
	5,0-10	80 bcA	97 aA	94 aA	81 abA	81 aA	89 abcA	10,3
	10-15	73 cA	73 aA	85 abA	80 abA	80 aA	73 bcA	14,3
	15-20	66 cA	76 abA	72 abA	58 abA	79 aA	71 bcA	13,9
	20-40	58 cA	56 bA	61 bA	55 bA	57 aA	65 cA	21,7
	CV(%)	11,0	16,8	10,8	21,6	19,6	13,3	-
Po-NaOH 0,5 mol L ⁻¹ (Po _{hid05})	0-2,5	219 a ¹ A ²	208 aA	199 aA	174 aA	158 aA	208 aA	30,2
	2,5-5,0	200 aA	198 aA	172 aA	201 aA	194 aA	156 bA	16,1
	5-10	181 aA	186 abA	156 aA	186 aA	191 abA	147 bcA	9,7
	10-15	153 abAB	114 bcB	135 aAB	175 aA	132 bAB	109 cdB	13,3
	15-20	79 bA	82 cA	68 aA	74 bA	69 cA	78 edA	12,5
	20-40	65 bA	64 cA	54 aA	56 bA	60 cA	56 eA	14,7
	CV(%)	23,6	21,6	29,5	20,3	15,9	11,1	-

(1)(2) Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna entre as camadas do solo para o mesmo extrator e maiúscula na linha entre as diferentes plantas de cobertura e na mesma profundidade não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A última fração do P moderadamente lábil é o Pi extraído por HCl (Pi_{HCl}). Esta fração se relaciona com o Pi com cargas positivas na superfície dos óxidos do solo, formas insolúveis em água dos fosfatos de cálcio, como apatitas e parte do P ocluso (HEDLEY et al., 1994; LIU et al., 2004). Nesta fração as diferenças entre os tratamentos são apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11. Fósforo inorgânico extraído por HCl 1,0 mol L⁻¹ (P_{HCl}) e frações de P residual (P_{residual}) em um Cambissolo Húmico cultivado com cebola sob sistema de plantio direto e manejo de plantas de cobertura após cinco anos e em seis camadas na região do Vale do Itajaí estado de Santa Catarina.

Frações de P	Camadas	VE	AV	CE	NF	NF + AV	NF + CE	CV(%)
	cm							
					mg kg ⁻¹			
Pi-HCl 1,0 mol L ⁻¹ (P _{HCl})	0-2,5	102 a ¹ A ²	90 aAB	58 aB	91 aAB	101 aA	84 aAB	17,6
	2,5-5,0	60 bA	65 bA	68 aA	36 bB	48 bAB	53 bAB	14,4
	5,0-10	25 cA	27 cA	27 bA	25 cbA	14 cB	25 cA	10,8
	10-15	11 cA	12 dA	12 cbA	9 cdA	10 cA	11 dA	18,2
	15-20	4 cBC	3 dC	7 cbA	5 dAB	3 cBC	3 dBC	19,9
	20-40	3 cA	3 dA	2 cA	3 dA	4 cA	2 dA	23,8
	CV(%)	29,7	11,1	26,4	21,41	29,3	16,5	-
P-residual (P _{residual})	0-2,5	752 a ¹ A ²	740 aA	736 aA	736 aA	742 aA	788 aA	9,3
	2,5-5,0	784 aA	731 aA	727 aA	715 aA	745 aA	727 aA	6,0
	5,0-10	740 aA	693 aA	713 aA	665 aA	702 aA	719 aA	16,8
	10-15	419 bA	487 bA	432 bA	302 aA	427 bA	363 bA	26,6
	15-20	333 bA	284 cA	243 bA	280 aA	232 cA	283 bA	17,1
	20-40	271 bA	232 cA	239 bA	241 aA	210 cA	282 bA	23,3
	CV(%)	12,8	13,0	16,9	19,2	12,7	17,6	-

⁽¹⁾⁽²⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna entre as camadas do solo para o mesmo extrator e maiúscula na linha entre as diferentes plantas de cobertura e na mesma profundidade não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Na camada superficial (0-2,5 cm) o maior teor de P_{HCl} foi encontrado no solo sob VE e NF+AV se comparado aos demais tratamentos (Tabela 11). Já na camada de 2,5 – 5,0 cm os maiores teores de P_{HCl} foram encontrados no solo sob VE, AV e CE e na camada de 5,0-10 cm o maior teor de P_{HCl} foi encontrado no solo sob VE, AV, CE, NF e NF+CE (Tabela 11). Por fim, na camada de 15-20 cm o maior teor de P_{HCl} foi encontrado no solo sob CE, se comparado aos demais tratamentos (Tabela 11). Isso provavelmente pode estar relacionado à aplicação de cama de frango, pois 60% do P nos dejetos está predominantemente nessa forma (SANTOS et al., 2008).

As frações de maior estabilidade no solo são aquelas obtidas por digestão dos resíduos do fracionamento. Muitos autores afirmam que essa fração pode ser convertida em formas mais lábeis apenas em condição de extrema deficiência de P no solo (GATIBONI et al., 2007; GUO; YOST, 1998; GUO et al., 2000), que é considerada uma fração pouco lábil (SOUZA, 2008). Em geral, no solo sob VE, AV, CE, NF, NF+AV e NF+CE não houve diferenças estatísticas para a forma de P-residual (Tabela 11). Isso se deve ao fato dessa forma de P (Presidual) estar ligada mais fortemente aos colóides do solo. Adicionalmente, em função da aplicação fontes fosfatadas e manutenção dos resíduos vegetais sobre o solo, resultando em teores biodisponíveis elevados no perfil do solo, podendo ter ocorrido saturação dos sítios mais ávidos por P, além de

ausência na mobilização do Presidial para fontes mais lábeis de P (GATIBONI et al., 2013).

Os teores de $P_{\text{biológico}}$ obtidos pela soma das frações ($P_{\text{bic}}+P_{\text{hid}}+P_{\text{hid05}}$) no solo foram iguais em todos os tratamentos. Entretanto, observou-se uma redução dos valores com o aumento da profundidade (Tabela 12). Comportamento semelhante foi verificado para os teores de P geoquímico ($P_{\text{RTA}}+P_{\text{bic}}+P_{\text{hid}}+P_{\text{hid05}}+P_{\text{HCL}}+P_{\text{residual}}$) no solo em todos os tratamentos (Tabela 12).

Nas camadas de 0-2,5, 2,5-5,0 e 5-10 cm os maiores teores de P biológico foram encontrados no solo sob VE, AV, NF e NF+AV. Por outro lado, nas camadas superficiais do solo (0-2,5, 2,5-5,0 e 5-10 cm) os maiores teores de P geoquímico foram obtidos no solo sob VE, AV, CE, NF, NF+AV e NF+CE (Tabela 12), podendo este maior teor de P observado no solo sob CE estar relacionado à maior quantidade de P no resíduo de CE (5,7 g kg⁻¹).

Tabela 12. Fósforo geoquímico (Pgeoquímico) e fósforo biológico (Pbiológico) em um Cambissolo húmico cultivado com cebola sob sistema de plantio direto e manejo de plantas de cobertura após cinco anos e em seis camadas na região do Vale do Itajaí estado de Santa Catarina.

Frações de P	Camadas	VE	AV	CE	NF	NF + AV	NF + CE	CV(%)
	cm				mg kg ⁻¹			
Pbiológico (P _{bio})	0-2,5	570 a ¹ A ²	469 aA	481 aA	450 aA	648 aA	498 aA	23,8
	2,5-5,0	461 abA	492 aA	441 abA	470 aA	470 abA	579 aA	29,0
	5,0-10	392 bA	388 abA	417 abA	474 aA	443 abA	526 aA	23,4
	10-15	326 bcA	292 cbA	325 bcA	382 abA	317 bA	588 aA	30,3
	15-20	232 cdA	224 cA	250 cdA	263 cbA	232 bA	344 aA	27,8
	20-40	187 dA	187 cA	177 dA	176 cA	168 bA	241 aA	35,3
	CV(%)	13,7	15,0	12,6	14,1	29,7	52,3	-
P geoquímico (P _{geo})	0-2,5	1574 a ¹ A ²	1472 aA	1400 aA	1414 aA	1423 aA	1469 aA	5,4
	2,5-5,0	1420 aA	1357 abA	1347 aA	1300 abA	1264 abA	1324 aA	4,8
	5,0-10	1217 bA	1243 bA	1253 aA	1149 bA	1144 bA	1225 aA	7,7
	10-15	801 cA	918 cA	908 bA	714 cA	808 cA	748 bA	13,0
	15-20	683 cdA	640 dA	610 cA	617 cA	586 dA	625 cA	7,7
	20-40	594 dA	571 dA	582 cA	541 cA	493 dA	602 cA	14,5
	CV(%)	6,0	7,5	9,0	8,4	6,9	9,4	-

(1)(2) Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna entre as camadas do solo para o mesmo extrator e maiúscula na linha entre as diferentes plantas de cobertura e na mesma profundidade não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Na Figura 4 apresenta-se o percentual da soma de todas as frações de Pi e Po sob SPD com diferentes plantas de cobertura nas 6 camadas de solo avaliadas. Em geral, foi verificado um aumento na contribuição das frações de P avaliadas, principalmente na fração de média labilidade como o P_{hid} em relação ao P total nos tratamentos com deposição de resíduos de NF, NF+AV e NF+CE, que contribuíram com 13, 14 e 19%, respectivamente, do P total, quando comparado ao tratamento VE (9%).

Por outro lado, verificou-se uma redução na fração de P_{hid} nos respectivos tratamentos em relação à VE (Figura 4).

No solo com deposição de resíduos da VE o P residual representou 39% do P total, enquanto na área com deposição de resíduos de plantas de cobertura o P residual variou de 36 a 38% (Figura 4).

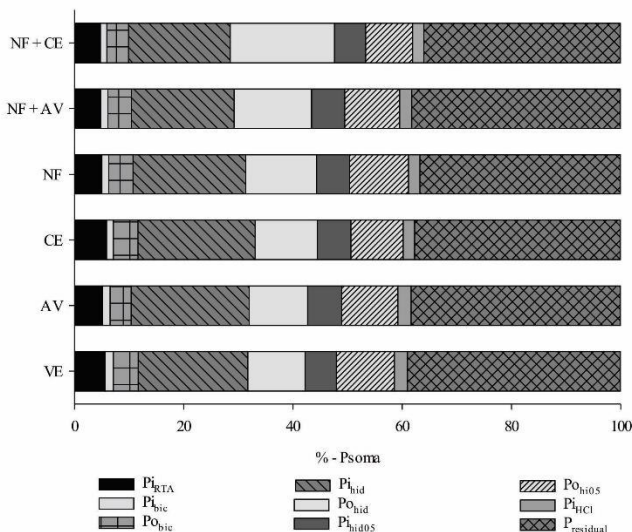


Figura 4. Fracionamento de P total do solo em 6 camadas de um solo Cambissolo Húmico cultivado com cebola sob sistema de plantio direto e manejo de plantas de cobertura após cinco anos na região do Vale do Itajaí estado de Santa Catarina sob diferentes sistemas de plantas de cobertura usando método de extração sequencial de Hedley: P inorgânico extraído por resina trocadora de ânions (P_{iRTA}), P inorgânico e orgânico extraído por $NaHCO_3$ 0,5 mol L^{-1} ($P_{o_{bic}}$ e $P_{i_{bic}}$); P inorgânico e orgânico extraído por $NaOH$ 0,1 mol L^{-1} ($P_{i_{hid}}$ e $P_{o_{hid}}$); P inorgânico extraído por HCl 1,0 mol L^{-1} ($P_{i_{HCl}}$), e P inorgânico e orgânico extraído por $NaOH$ 0,5 mol L^{-1} ($P_{i_{hid05}}$ e $P_{o_{hid05}}$).

A análise dos componentes principais (ACP) demonstrou por meio da relação entre o componente principal 1 (fator 1) e do componente principal 2 (fator 2), que houve uma separação entre as áreas com deposição de resíduos de NF, NF+AV e NF+CE e os tratamentos com deposição de resíduos de VE, AV e CE. O fator 1, que explica 40,85% dos dados, separou os tratamentos com deposição de resíduos de NF, NF+AV e NF+CE e os tratamentos com deposição de resíduos de VE, AV e CE. As frações que mais contribuíram para essa separação foram aquelas extraídas por P_{iRTA} , $P_{i_{bic}}$, $P_{i_{hid}}$ e $P_{i_{HCl}}$. Além disso, observa-se a

formação de dois grupos entre os tratamentos: (i) NF, NF+AV e NF+CE e (ii) VE, AV e CE (Figura 5). Isso se deve ao fato de as plantas não-micorrízicas como o nabo-forrageiro (NF) apresentarem maiores teores de fosfatases no solo, tanto no período de inverno como no verão (KUNZE et al., 2012). Isso pode ser relacionado ao maior teor de pH em água do solo com a deposição de resíduos de NF obtido na camada de 0-2,5 cm (Tabela 8).

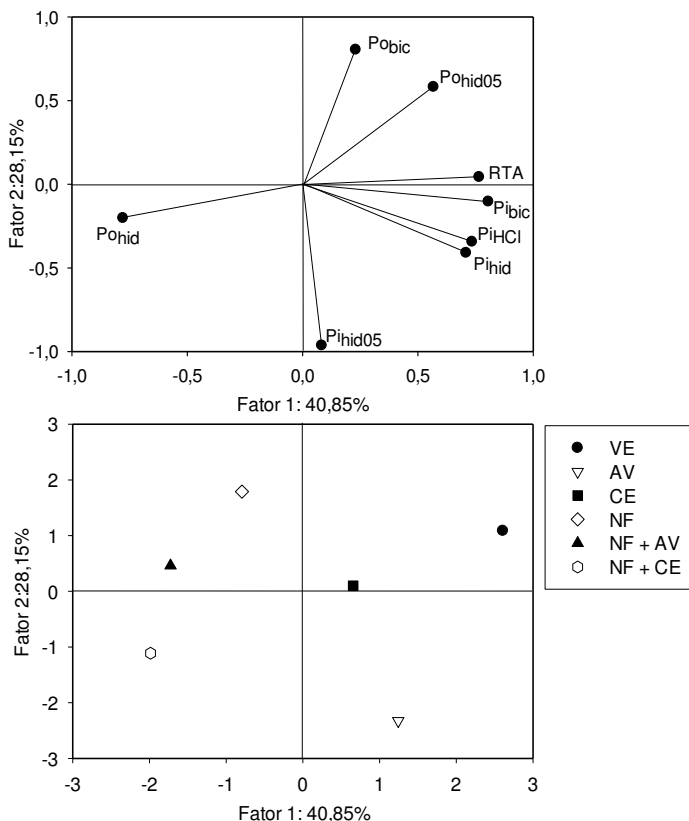


Figura 5. Relação entre o componente principal 1 (fator 1) e o componente principal 2 (fator 2), da média das frações de P nas camadas de solo de 0-2,5, 2,5-5,0, 5,0-10, 10-15, 15-20 e 20-40 cm de um solo Cambissolo Húmico cultivado com cebola sob sistema de plantio direto e manejo de plantas de cobertura após cinco anos e em seis camadas na região do Vale do Itajaí estado de Santa Catarina usando método de extração sequencial de Hedley: P inorgânico extraído por resina trocadora de ânions (P_{RTA}), P inorgânico e orgânico extraído por NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹ (P_obic e P_ibic); P inorgânico e orgânico extraído por NaOH 0,1 mol L⁻¹ (P_ihid e P_ohid); P inorgânico extraído por HCl 1,0 mol L⁻¹ (P_iHCl), e P inorgânico e orgânico extraído por NaOH 0,5 mol L⁻¹ (P_ihid05 e P_ohid05).

6.4 CONCLUSÕES

1. As plantas de cobertura apresentaram os maiores teores de carbono orgânico total, potássio, fósforo disponível e ferro oxalato, nas camadas superficiais do solo, enquanto nas camadas mais profundas observou-se os menores teores.
2. Os valores de P mais lábeis, em geral, foram maiores para os tratamentos com VE e CE nas camadas superficiais.
3. As formas de P moderadamente lábeis foram maiores no solo sob VE na camada superficial, enquanto nos tratamentos com plantas de cobertura foram observados os menores teores, indicando assim uma melhor distribuição do P no perfil do solo devido à influência do sistema radicular distinto entre estas plantas.

6.5 LITERATURA CITADA

ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE EMPRESAS DE TECNOLOGIA - ACATE. AGRONEGÓCIO E TECNOLOGIA. Santa Catarina. Anuário 2014. [Acessado 12 ago 2015]. Disponível em: http://www.acate.com.br/sites/default/files/anuarioacate_0.pdf.

ALAMGIR, M.; MCNEILL, A.; TANG, C.; MARSCHNER, P. Changes in soil P pools during legume residue decomposition. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 49, p. 70–77, 2012.

ALTIERI, M. A. ; LANA, M. A.; BITTENCOURT, H. V.; KIELING, A. S.; COMIN, J. J.; LOVATO, P. E. Enhancing crop productivity via weed suppression in organic no-till cropping systems in Santa Catarina, Brazil. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 35, n. 8, p. 855–869, 2011.

BECK, M.A.; SANCHEZ, P.A. Soil phosphorus fraction dynamics during 18 years of cultivation on a Typic Paleudult. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, n.5, p.1424-1431, 1994.

CAMPIGLIA, E.; MANCINELLI, R.; RADICETTI, E. Influence of no-tillage and organic mulching on tomato (*Solanum Lycopersicum* L.) production and nitrogen use in the mediterranean environment of central Italy. **Scientia Horticulturae**, v. 130, n. 3, p. 588–598, 2011.

CONDON, L. M.; GOH., K. M.; NEWMAN, R. H. Nature and distribution of soil phosphorus as revealed by a sequential extraction method followed by ³¹P nuclear magnetic resonance analysis. **Journal of Soil Science**, v. 36, p. 199–207, 1985.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D.S. Frações de fósforo acumuladas em Latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.893-900, 2003.

CQFS-RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10th ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004.

CROSS, A. F.; SCHLESINGER, W. H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. **Geoderma**, v. 64, n. 3-4, p. 197–214, 1995.

DIÁZ-ZORITA, M., GROVE, J. H. Duration of tillage management affects carbon and phosphorus stratification in phosphatic Paleudalfs. **Soil Till. Res.** 66, 165–174, 2002.

DICK, W. A.; TABATABAI, M. A. Determination of orthophosphate in aqueous solutions containing labile organic and inorganic phosphorus compounds. **Journal of Environmental Quality**, 1977.

DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; et al. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilisation in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. **Soil and Tillage Research**, v. 81, n. 1, p. 87–95, 2005.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3rd ed. Brasília: Embrapa, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EPAGRI. **Sistema de produção para a cebola de Santa Catarina**. 4th ed. Florianópolis: EPAGRI, 2013.

ERNANI, P.R., BAYER, C., MAESTRI, L. Corn yield as affected by liming and tillage system on an acid Brazilian oxisol. **Agronomic Journal**, v. 94, p. 305–309. 2002.

FIXEN, P. E.; GROVE, J. H. Testing soils for phosphorus. In: WESTERMAN, R.L. (Ed.) *Soil Testing and Plant Analysis*. 3.ed. Madison: **Soil Science Society of America**, Inc., 1990, p.141-180.

GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; RHEINHEIMER, S. Fracionamento químico das formas de fósforo do solo: usos e limitações. **Tópicos em Ciência Do Solo**, (1), 1–47, 2013.

GATIBONI, L. C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. 2003. 231p. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; FLORES, J.P.C. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.31, n.4, p.691-699, 2007.

GUO, F.; YOST, R.S. Partitioning soil phosphorus into three discrete pools of differing availability. **Soil Science**, v.163, n.10, p.822-833, 1998.

GUO, F.; YOST, R.S.; HUE, N.V.; EVENSEN, C.I.; SILVA, J.A. Changes in phosphorus fractions under intensive plant growth. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, n.5, p.1681-1689, 2000.

HALL, H.; LI, Y.; COMERFORD, N.; GARDINI, E.A.; CERNADES, L.Z.; BALIGAR, V.; POPENOE, H. Cover crops alter phosphorus soil fractions and organic matter accumulation in a Peruvian cacao agroforestry system. **Agroforestry Systems**, v. 80, n. 3, p. 447–455, 2010.

HEDLEY, M. J.; STEWART, J. W. B.; CHAUHA, B. S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. **Soil Science Society of America Journal**, v. 46, p. 970–976, 1982.

HEDLEY, M.J.; KIRK, G.J.R.; SANTOS, M.B. Phosphorus efficiency and the forms of soil phosphorus utilized by upland rice cultivars. **Plant and Soil**, v.158, n.1, p.53–62, 1994.

JUNIOR, A.V.I.; KAMPF, N. Avaliação de procedimentos de extração dos óxidos de ferro pedogênicos com ditionito- citrato-bicarbonato de sódio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 1139–1147, 2003.

KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; BARTZ, H.R. Proposta de nova equação para determinação do valor de H+Al pelo uso do índice SMP em solos do RS e SC. ANAIS: **Reunião Anual da ROLAS**, 23, Frederico Westphalen (RS), 2001.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259–263, 2006.

LINQUIST, B.A.; SINGLETON, P.W.; CASSMAN, K.G. Inorganic and organic phosphorus dynamics during a build-up decline of available phosphorus in an Ultisol. **Soil Science**, v.162, n.4, p.254-264, 1997.

LIU, Q.; LOGANATHAN, P.; HEDLEY, M.J.; SKINNER, M.F. The mobilization and fate of soil and rock phosphate in the rhizosphere of ectomycorrhizal *Pinus radiata* seedlings in an Allophanic soil. **Plant and Soil**, v.264, n.1-2, p.219-229, 2004.

MEHRA, O.P.; JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays and Clay Minerals**, v. 7, p. 317–327, 1958.

MEURER, E. L.; RHEINHEIMER, D.S.; BISSANI, C.A. Fenômenos de sorção em solos. In: MEURER, E. J. (Ed.) **Fundamentos de química do solo**. 2.ed. Porto Alegre: **Gênesis**, 2004. p.131-179.

MONEGAT. Manejo de Plantas de Cobertura do solo em pequenas propriedades. In: **Plantas de Cobertura do Solo: características e manejo em pequenas propriedades**. 1st ed., p.146–239, 1991. Chapecó: Ed. do autor.

MURPHY, J.; RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v. 27, p. 31–36, 1962.

PARFITT, R.L. Anion adsorption by soils and soil materials. In: BRADY, N.C. (Ed.) **Advances in Agronomy**, v.30. New York: Academic Press, Inc., 1978. p.1-46.

PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. Formas extraíveis de ferro em solos do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 1, p. 371–382, 1999.

RHEINHEIMER, D.S; ANGHINONI, I. Accumulation of soil organic phosphorus by soil tillage and cropping systems in subtropical soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.34, n.15-16, p.2339-2354, 2003.

SAS Institute Inc®. **SAS versão 9.1.3**. Cary, 2003.

SELLES, F., KOCHHANN, R.A., DENARDIN, J.E., ZENTNER, R.P., FAGANELLO, A. Distribution of phosphorus fractions in a Brazilian

Oxisol under different tillage systems. **Soil and Tillage Research**. v. 44, p. 23–34, 1997.

SHARPLEY, A.N.; SMITH, S.J. Fractionation of inorganic and organic phosphorus in virgin and cultivated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.49, n.1, p.127-130, 1985.

SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C.V.S.; CARVALHO, P.C.F.; MARTINS, A.P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo.(Soil microbial biomass in a no-tillage integrated crop-livestock system under different grazing intensities). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**.34, 79–88, 2010.

SOUZA, M.; COMIN, J.J.; LEGUIZAMÓN, E.S.; KURTZ, C.; BRUNETTO, G.; JÚNIOR, V.M.; VENTURA, B. CAMARGO, A.P. Matéria seca de plantas de cobertura, produção de cebola e atributos químicos do solo em sistema plantio direto agroecológico. **Ciência Rural**, v. 43, n. 1, p. 21–27, 2013.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, planta e outros materiais**. 2nd ed. Porto Alegre: UFRG, 1995.

TIECHER, T.; SANTOS, D.R.; CALEGARI, A. Soil organic phosphorus forms under different soil management systems and winter crops, in a long term experiment. **Soil and Tillage Research**, v. 124, p. 57–67, 2012.

ZAMUNER, E.C.; PICONE, L.I.; ECHEVERRIA, H.E. Organic and inorganic phosphorus in Mollisol soil under different tillage practices. **Soil and Tillage Research**, v.99, n.2, p.131–138, 2008.

ZHOU, L.L.; CAO J.; ZHANG, F.S.; LI, L. Rhizosphere acidification of faba bean, soybean and maize. **Sci Total Environ**, 407:4356–4362, 2009.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAMGIR, M.; MCNEILL, A.; TANG, C.; MARSCHNER, P. Changes in soil P pools during legume residue decomposition. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 49, p.70-77, 2012.

BITTENCOURT, H. von H. **Efeito de plantas de cobertura de inverno sobre cultivos de milho e feijão em sistema de plantio direto em três regiões do estado de Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009. 85p.

CORNWELL, W. K.; CORNELISSEN, J. H. C.; AMATANGELO, K.; DORREPAAL, E.; EVINER, V. T.; GODOY, O.; HOBBIE, S. E.; HOORENS, B.; KUROKAWA, H.; PÉREZ-HARGUINDEGUY, N.; QUESTED, H. M.; SANTIAGO, L. S.; WARDLE, D.; WRIGHT, I. J.; AERTS, R.; ALLISON, S. D.; VAN BODEGOM, P.; BROVKIN, V.; CHATAIN, A.; CALLAGHAN, T. V.; DÍAZ, S.; GARNIER, E.; GURVICH, D. E.; KAZAKOU, E.; KLEIN, J. A.; READ, J.; REICH, P. B.; SOUDZILOVSKAIA, N. A.; VAIERETTI, M. V.; WESTOBY, M. Plant species traits are the predominant control on litter decomposition rates within biomes worldwide. **Ecology letters**, v. 11, n. 10, p. 1065–71, 2008.

EPAGRI. **Sistema de produção para a cebola de Santa Catarina**. 4th ed. Florianópolis: EPAGRI, 2013.

FERREIRA, P. A. A.; GIROTTO, E.; TRENTIN, G.; MIOTTO, A.; MELO, G. W.; CERETTA, C. A.; KAMINSKI, J.; FRARI, B. K. D.; MARCHEZAN, C.; SILVA, L. O. S.; FAVERSANI, J. C.; BRUNETTO, G. Biomass decomposition and nutrient release from

black oat and hairy vetch residues deposited in a vineyard. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1621–1632, 2014.

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, D. R. dos S. L. C. G. J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto, **Ciência Rural**, p. 576–586, 2008.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; HUBNER, A. P.; LUNKES, A.; GUIDINI, E.; AMARAL, E. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 1, p. 1097–1104, 2003.

GRINSTED, M. J., HEDLEY, M. J. R.E. WHITE, P. H. NYE. Plant-induced changes in the rhizosphere of rape (*Brassica napus* var. Emerald) seedlings: I. pH change and the increase in P concentration in the soil solution. **New Phytol.** v. 91, p. 19–29, 1982.

GUNNARSSON, S.; MARSTORP, H.; DAHLIN, A. S.; WITTER, E. Influence of non-cellulose structural carbohydrate composition on plant material decomposition in soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 45, n. 1, p. 27–36, 2008.

HEDLEY, M. J., P. H. NYE; R.E. WHITE. Plant-induced changes in the rhizosphere of rape (*Brassica Napus* var. Emerald) seedlings: II. Origin of the pH change. **New Phytol.** v. 91, p. 31–44, 1982.

HINSINGER, P., R. J. GILKES. Dissolution of phosphate rock in the rhizosphere of five plant species grown in an acid, P-fixing mineral substrate. **Geoderma**, v.75, p. 231–249, 1997.

KIELING, A. **Plantas de cobertura em sistema de plantio direto de tomate: efeitos sobre plantas espontâneas, atributos do solo e a produtividade de frutos em um processo de transição agroecológica.**

2005. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2007, 127p.

KUNZE, A.; COSTA, M. D.; EPPING, J. Phosphatase activity in sandy soil influenced by mycorrhizal and non-mycorrhizal cover crops.

Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 705-711, 2011 .

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; KOUCHER, L. P. ; OLIVEIRA, R. A. ; KURTZ, C. ; LOVATO, P. E. ; CURMI, P.; BRUNETTO, G. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (Online), v. 39, p. 1212-1224, 2015.

LANA, M. A. **Manejo de plantas de cobertura em soja sob plantio direto sem herbicidas**. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina. 2007. 81p.

MARSCHNER, P., Z. SOLAIMAN, Z. RENGEL. *Brassica* genotypes differ in growth, phosphorus uptake and rhizosphere properties under P-limiting conditions. **Soil Biol. Biochem.** 39, 87–98, 2007.

MARTINS, R. P. **Decomposição e mineralização de nutrientes de resíduos de plantas de cobertura em solo cultivado com cebola (*Allium cepa* L.)**. 2013. 61 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós graduação em Agroecossistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Ed. UFV, Viçosa-MG. 399 p., 1999.

PANACHUKI, E.; BERTROL, I.; SOBRINHO, T. A.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de

água em Latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.35, p.1777-1785, 2011.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 911–920, 2008.

SOUZA, M. **Produção de cebola e dinâmica de emergência de plantas espontâneas sob plantas de cobertura em sistema plantio direto**. 2012. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós graduação em Agroecossistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

SOUZA, M.; COMIN, J. J.; LEGUIZAMÓN, E. S.; KURTZ, C.; BRUNETTO, G.; JÚNIOR, V. M.; VENTURA, B.; CAMARGO, A. P. Matéria seca de plantas de cobertura, produção de cebola e atributos químicos do solo em sistema plantio direto agroecológico. **Ciência Rural**, v. 43, n. 1, p. 21–27, 2013.

TAGLIAVINI, M.; TONON, G.; SCANDELLARI, F.; QUIÑONES, A.; PALMIERI, S.; MENARBIN, G.; GIOACCHINI, P.; MASIA, A. Nutrient recycling during the decomposition of apple leaves (*Malus domestica*) and mowed grasses in an orchard. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 118, n. 1-4, p. 191–200, 2007.

TEIXEIRA, M. B.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PIMENTEL, C. Decomposição e liberação de nutrientes da parte aérea de plantas de milho e sorgo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 867–876, 2011.

TEIXEIRA, M. B.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PIMENTEL, C. Decomposição e ciclagem de nutrientes dos resíduos de quatro plantas de cobertura do solo. **Idesia**, v. 30, n. 1, p. 55–64, 2012.

TRINSOUTROT, I.; RECOUS, S.; BENTZ, B.; LINE`RES, M.; CHE`NEBY, D.; NICOLARDOT, B. Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 918, 2000.

VARGAS, M. M. M. **Atributos químicos e biológicos do solo e rendimento o da cebola em sistema de plantio direto após cultivo com diferente es plantas de cobertura de inverno**. 2012. 49 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós graduação em Agro ecossistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

VILANOVA, C. de C. **Sistema de plantio direto de cebola: contribuições das plantas de cobertura no manejo ecológico de plantas espontâneas**. 2011. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós graduação em Agroecossistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

WHITE, C. M.; WEIL, R. R. Forage radish cover crops increase soil test phosphorus surrounding radish taproot holes. **Soil Science Society of America Journal**, v. 75, n. 1, p. 121, 2011.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A deposição de plantas de cobertura na superfície do solo promoveu maior deposição de nutrientes e carbono, alterando os atributos químicos do solo e o rendimento da cebola.

A ausência de revolvimento no SPD resultou, em geral, no maior acúmulo superficial de todas as formas de Pi, não apenas pela ciclagem do P pelas culturas ao longo dos anos, através da decomposição de resíduos vegetais das plantas de cobertura sobre a superfície do solo, mas também pelo fósforo absorvido pelas raízes, que se concentram nas camadas superficiais do solo.

Isso também decorre do fato de que anualmente são realizadas adubações com cama de frango após a rolagem das plantas de cobertura, fazendo com que possíveis diferenças nas formas de fósforo sejam mínimas.

9 APÊNDICES

9.1 APÊNDICE A - FRACIONAMENTO DE FÓSFORO NO SOLO (HEDLEY et al., 1982 com modificações de CONDRON et al., 1985)

SOLUÇÕES:

NaHCO₃ 0,5 mol l⁻¹: Pesar 42,00 g de NaHCO₃ 0,5 mol l⁻¹ para Becker de 1000 ml e adicionar 900 ml de H₂O destilada. Ajustar o pH a 8,5 com o uso de NaOH ou HCl. Transferir para o balão de 1000 ml e completar o volume. Preparar a solução imediatamente antes do uso.

NaCl 0,5 mol l⁻¹: Pesar 29,25g de NaCl para Becker de 1000 ml e adicionar 900 ml de H₂O destilada. Transferir para balão de 1000 ml e completar o volume.

NaOH 0,1 mol l⁻¹: Pesar 4,00 g de NaOH para Becker de 1000 ml e adicionar 900 ml de H₂O destilada. Transferir para balão de 1000 ml e completar o volume.

HCl 1 mol l⁻¹: Adicionar 84,00 ml de HCl concentrado em Becker de 1000 ml contendo 700 ml de H₂O destilada. Transferir para balão de 1000 ml e completar o volume.

NaOH 0,5 mol l⁻¹: Pesar 20,00g de NaOH para Becker de 1000 ml e adicionar 900 ml de H₂O destilada. Transferir para balão de 1000 ml e completar o volume.

PROCEDIMENTO:

Pesar 0,5 gramas de solo para tubo de centrífuga com tampa rosca;
Adicionar 10 ml de água destilada;
Adicionar 1 lâmina de RTA preparada segundo apêndice B;
Agitar por 16 horas no “end-over-end” (rotação de 33rpm);
Retirar RTA do tubo com o auxílio de uma pinça;
Lavar o excesso de solo da RTA com jato de água (pisceta);
Colocar a RTA em recipiente com tampa contendo 15 ml de HCl 0,5 mol l⁻¹;
Deixar em repouso por 90 min (com tampa aberta);
Agitar por 30 min em agitador horizontal;
Retirar a RTA com auxílio de pinça e recuperá-la conforme Apêndice-B;

Centrifugar o solo+água à 3200 rpm por 15 min (+60 seg. acelerada + 60 seg. desacelerada);

Determinar Pi no extrato de HCl 0,5 mol l⁻¹ (Apêndice C – Nesta etapa, para leitura de Pi, além das curvas saturadas com as resinas, é necessário fazer outras curvas com as concentrações de fósforo conhecidas: 0,1; 0,2; 0,4; 0,8 e 1,2;

Adicionar 10 ml de NaHCO₃ 0,5 mol l⁻¹;

Agitar manualmente para soltar o solo do fundo do tubo;

Agitar por 16 horas no “end-over-end”;

Centrifugar à 3200 rpm por 15 min (+60 seg. acelerada + 60 seg. desacelerada);

Reservar o sobrenadante para a análise de Pi (apêndice D) e Pt (Apêndice E);

Adicionar 10 ml de NaCl 0,5 mol l⁻¹ com cuidado para não mexer o solo;

Centrifugar à 3200 rpm por 5 min (+60 seg. acelerada + 60 seg. desacelerada) e adicionar o sobrenadante ao extrato;

Adicionar 10 ml de NaOH 0,1 mol l⁻¹;

Agitar manualmente para soltar o solo do fundo do tubo;

Agitar por 16 horas no “end-over-end”;

Centrifugar à 3200 rpm por 15 min (+60 seg. acelerada + 60 seg. desacelerada);

Reservar o sobrenadante para análise de Pi (apêndice D) e Pt (Apêndice E);

Adicionar 10 ml de NaCl 0,5 mol l⁻¹ com cuidado para não mexer o solo;

Centrifugar à 3200 rpm por 5 min (+60 seg. acelerada + 60 seg. desacelerada) e adicionar o sobrenadante ao extrato anterior;

Adicionar 10 ml de HCl 1,0 mol l⁻¹;

Agitar manualmente para soltar o solo do fundo do tubo;

Agitar por 16 horas no “end-over-end”;

Centrifugar à 3200 rpm por 15 min (+60 seg. acelerada + 60 seg. desacelerada);

Reservar o sobrenadante para análise de Pi (Apêndice C);

Adicionar 10 ml de NaCl 0,5 mol l⁻¹ com cuidado para não mexer o solo;

Centrifugar à 3200 rpm por 15 min (+60 seg. acelerada + 60 seg. desacelerada) e adicionar o sobrenadante ao extrato anterior;

Adicionar 10 ml de NaOH 0,5 mol l⁻¹;

Agitar manualmente para soltar o solo do fundo do tubo;

Agitar por 16 horas no end-over-end”;

Centrifugar à 3200 rpm por 15 min (+60 seg. acelerada + 60 seg. desacelerada);

Reservar o sobrenadante para a análise de Pi (Apêndice D) e Pt (Apêndice E);

Adicionar 10 ml de NaCl 0,5 mol l⁻¹ com cuidado para não mexer o solo;

Centrifugar à 3200 rpm por 5 min (+60 seg. acelerada + 60 seg. desacelerada) e adicionar o sobrenadante ao extrato anterior;

Secar o solo em estufa à 50°C e digerir o solo conforme Apêndice F.

9.2 APÊNDICE B: SATURAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE RESINAS TROCADORAS DE ÂNIONS (adaptado de MIOLA, 1995)

PREPARO DA RTA

Lavagem com HCl 0,5 mol l⁻¹ (Fazer 1 l de solução):

- contato com HCl mol l⁻¹ por **10** min., jogar fora o líquido (colocar a quantidade de HCl necessariamente para cobrir as resinas)
- contato com HCl mol l⁻¹ por **30** min. (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido (colocar a quantidade de HCl necessariamente para cobrir as resinas);
- contato com HCl mol l⁻¹ por **30** min (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido (colocar a quantidade de HCl necessária para cobrir as resinas);

Lavagem com água destilada (Fazer 1 l de solução):

- lavar com bastante H₂O destilada e descartar o líquido;
- contato com H₂O destilada por **30** min. (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido (colocar a quantidade de H₂O necessária para cobrir as resinas);
- contato com H₂O destilada por **30** min. (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido (colocar a quantidade de H₂O necessária para cobrir as resinas);
- contato com H₂O destilada por **30** min. (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido (colocar a quantidade de H₂O necessária para cobrir as resinas);

Saturação com NaHCO₃ 0,5 mol l⁻¹ (Fazer 1l de solução):

- contato com NaHCO₃ 0,5 mol l⁻¹ por **10** min., jogar fora o líquido (colocar a quantidade de NaHCO₃ necessária para cobrir as resinas);

- contato com NaHCO_3 0,5 mol l^{-1} por **30** min. (agir de 10 em 10 min.), jogar fora o líquido (colocar a quantidade de NaHCO_3 necessária para cobrir as resinas);
- contato com NaHCO_3 0,5 mol l^{-1} por **120** min. (agitar de 10 em 10 min.), jogar fora o líquido (colocar a quantidade de NaHCO_3 necessária para cobrir as resinas);

Lavagem do excesso de NaHCO_3 0,5 mol l^{-1} com água destilada (Fazer 11 de solução):

- lavar com bastante H_2O destilada e descartar o líquido;
- contato com H_2O destilada e por **30** min. (agir de 10 em 10 min), jogar fora o líquido (colocar a quantidade de H_2O necessária para cobrir as resinas);
- contato com H_2O destilada e por **30** min. (agir de 10 em 10 min), jogar fora o líquido (colocar a quantidade de H_2O necessária para cobrir as resinas);
- contato com H_2O destilada e por **30** min. (agir de 10 em 10 min), jogar fora o líquido (colocar a quantidade de H_2O necessária para cobrir as resinas);

EXTRAÇÃO DO FÓSFORO DO SOLO

- Passos “a” a “k” do fracionamento de fósforo do solo (Apêndice A).

RECUPERAÇÃO DA RTA

- submeter a RTA aos passos 1a e 1b do preparo da RTA;
- estocar a RTA em água destilada.

Observações:

- a) quando a RTA estocada passou pelo processo de recuperação no dia anterior, no novo preparo da RTA, esses passos não precisam ser repetidos.
- b) o NaHCO_3 deve ser preparado na hora do uso e o pH deve ser regulado à 8,5 com uso de NaOH ou HCl .

9.3 APÊNDICE C: DETERMINAÇÃO DE FÓSFORO EM EXTRATOS ÁCIDOS DO SOLO (MURPHY e RILEY, 1977)

SOLUÇÕES:

Solução A: dissolver 15,35g de $(\text{NH}_4)\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ com 200 ml de H_2O destilada em Becker de 500 ml. Dissolver 0,3511g de $\text{C}_4\text{H}_4\text{KO}_7\text{Sb}$. $\frac{1}{2}$ H_2O com 100 ml de H_2O destilada em Becker de 200 ml. Colocar 300 ml de H_2O destilada em Becker de 1000 ml e adicionar lentamente 178 ml de ácido sulfúrico concentrado. Após esfriar, transferir para balão volumétrico de 1000 ml, adicionar as soluções de molibdato de amônio – $(\text{NH}_4)\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ – e potássio antimônio tartrato – $\text{C}_4\text{H}_4\text{KO}_7\text{Sb}$. $\frac{1}{2}$ H_2O – e ajustar o volume com H_2O destilada.

Solução B: dissolver 1,356 g $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ (ácido ascórbico) com 100 ml de solução A em balão volumétrico. Esta solução deve ser preparada no momento do uso e permanecer em recipiente protegido da luz (envolver em papel alumínio).

NaOH 10 mol l⁻¹: dissolver 400g de NaOH em 600 ml de H_2O destilada em Becker de 1000 ml. Após esfriar, transferir para balão volumétrico de 1000 ml e ajustar o volume com H_2O destilada. Armazenar em frasco plástico.

p-nitrofenol 0,25%: pesar 0,25g de p-nitrofenol e dissolver em 100 ml de H_2O destilada em balão volumétrico. Armazenar em geladeira em frasco escuro.

PROCEDIMENTO DE ANÁLISE:

Pipetar uma alíquota de 3 ml do extrato para copo de cafezinho;

Se necessário fazer diluição das mesmas amostras de H_2O destilada;

Adicionar uma gota de p-nitrofenol 0,25%;

Neutralizar a solução com gotas de NaOH 10 mol l⁻¹ até fixar a cor amarela;

Adicionar 0,5 ml de **solução B**;

Ler a absorbância em λ 882 nm após 30 minutos.

Observação: no momento do uso, os reagentes e a curva devem estar em temperatura ambiente.

9.4 APÊNDICE D: DETERMINAÇÃO DE FÓSFORO INORGÂNICO EM EXTRATOS ALCALINOS DO SOLO (DICK e TABATABAI, 1977)

SOLUÇÕES:

Solução A: dissolver 8,80g de $C_6H_8O_6$ (ácido ascórbico) e 41,00g de ácido tricloroacético com 400 ml de H_2O destilada em Becker de 500 ml. Transferir para balão volumétrico de 500 ml e ajustar o volume com H_2O destilada. Esta solução deve ser preparada no momento do uso.

Solução B: dissolver 6,20g de $(NH_4)Mo_7O_{24}.4H_2O$ com 400 ml de H_2O destilada em Becker de 500 ml. Transferir para balão volumétrico de 500 ml e ajustar o volume com H_2O destilada.

Solução C: dissolver 29,40g de citrato de sódio e 26,00g de arsenito de sódio com 800 ml de H_2O destilada em Becker de 1000 ml. Adicionar 50 ml de ácido acético glacial (99%). Transferir para balão volumétrico de 1000 ml e ajustar o volume com H_2O destilada.

PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE:

Adicionar uma alíquota de 4 ml do extrato alcalino e copo de cafezinho;

Adicionar 5 ml de solução A;

Adicionar imediatamente 1 ml de solução B;

Adicionar imediatamente 2,5 ml de solução C;

Ler a absorbância no λ 700nm após 15 minutos.

Observação. No momento do uso, os reagentes e a curva devem estar a temperatura ambiente.

9.5 APÊNDICE E: DIGESTÃO DOS EXTRATOS ALCALINOS DO SOLO (extraídos com $NaOH$ e $NaHCO_3$) PARA ANÁLISE DO FÓSFORO TOTAL (USEPA, 1971)

SOLUÇÕES:

H_2SO_4 1:1: Adicionar, vagarosamente, 500 ml de H_2SO_4 concentrado em 500 ml de H_2O destilada. Esperar esfriar, transferir para balão volumétrico de 1000 ml e completar o volume com H_2O destilada.

Persulfato de amônio 7,5% (m/v): Dissolver 75g de persulfato de amônia (Merck ou Vetec) em 800 ml de H₂O destilada. Transferir para balão volumétrico de 1000 ml e completar o volume com H₂O destilada.

PROCEDIMENTO DE ANÁLISE:

Pipetar uma alíquota de 2 ml do extrato alcalino em tubo de ensaio;
Adicionar 5 ml de persulfato de amônio 7,5%;
Adicionar 0,5 ml de H₂SO₄ 1:1;
Cobrir cada tubo com papel alumínio;
Colocar os tubos em recipiente maior e cobri-lo com papel alumínio;
Autoclavar a 121°C e 103 kPa por 2 horas;
Determinar fósforo conforme apêndice C.

9.6 APÊNDICE F: DIGESTÃO DO RESÍDUO DO SOLO PARA ANÁLISE DO FÓSFORO TOTAL (BROOKES e POWLSON, 1982)

SOLUÇÕES:

Solução MgCl₂ saturado: adicionar MgCl₂ em H₂O destilada até a saturação da solução. Para a devida saturação, mexer com o agitador magnético e esperar formar cristais de magnésio no fundo da recipiente. (vai muito reagente e o tempo de diluição pode demorar um pouco);

H₂SO₄ concentrado.

H₂O₂ concentrado (Merck).

PROCEDIMENTO DE ANÁLISE:

Pesar 0,10g de solo em tubo de digestão;
Adicionar 1 ml de MgCl₂ saturado;
Adicionar 1 ml de H₂SO₄ concentrado (dentro da capela);
Colocar funil de refluxo no tubo de digestão (opcional);
Aquecer por 1 hora no bloco digestor à 200°C;
Deixar esfriar e adicionar 2 ml de H₂O₂ concentrado (**Merck**);
Aquecer por 1 hora no bloco digestor à 100°C;
Deixar esfriar e completar o volume à 50ml;
Determinar fósforo conforme apêndice C.

9.6 APÊNDICE H: DETERMINAÇÃO DAS FRAÇÕES DE CELULOSE, LIGNINA E COMPONENTES NÃO ESTRUTURAIS (ABER e MARTIN, 1999)

SOLUÇÕES:

H₂SO₄ 72%: Ficar atento na diluição do ácido 95-97% utilizando a regra de três. 72 % do ácido adicionado lentamente e com agitação com 24% de água destilada. A reação é exotérmica logo se aconselha esfriar com um Banho Maria.

KPi 100 mM pH 7,8 + Triton X-100 -4° C - (WB): Dentro de 950 ml de água destilada adicionar 1,1568 g de KH₂PO₄ e 15,9374 g de K₂HPO₄. Ao completar a solução, adicionar 5 ml de Triton X-100 e levar ao volume de 1000 ml com água destilada. Inserir um “peixinho” no fundo do balão volumétrico e colocar para agitar lentamente até a completa dissolução do detergente, ao fim aferir o volume.

MeOH (PA-100%): Álcool metílico.

PROCEDIMENTOS DE EXTRAÇÃO

- a) Pesar e anotar em um tubo Falcon de 150 a 300 mg do material vegetal seco (1 mm);
- b) Adicionar 10 ml de WB;
- c) Agitar por **16** horas no “end-over-end” (rotação de 33rpm);
- d) Centrifugar a 10.000 rpm por **10** min. e descartar o sobrenadante;
- e) Adicionar 10 ml de WB;
- f) Agitar lentamente por 30 min. no “end-over-end”;
- g) Centrifugar a 10.000 rpm por **10** min. e descartar o sobrenadante;
- h) Adicionar 10 ml de WB;
- i) Agitar por **30** min. lentamente min. no “end-over-end”;
- j) Centrifugar a 10.000 rpm por **10** minutos e descartar o sobrenadante;
- l) Adicionar 10 ml de MeOH;
- m) Agitar lentamente por **30** min. no “end-over-end”;
- n) Centrifugar a 10.000 rpm por **10** min. e descartar o sobrenadante;
- o) Adicionar 10 ml de MeOH;
- p) Agitar lentamente por **30** min. no “end-over-end”;
- q) Centrifugar a 10.000 rpm por **10** min. e descartar o sobrenadante;
- r) Adicionar 10 ml de MeOH;
- s) Agitar lentamente por **30** min. no “end-over-end”;

- t) Centrifugar a 10.000 rpm por **10** min. e descartar o sobrenadante;
- u) Adicionar 10 ml de MeOH;
- v) Agitar lentamente por **30** min. no “end-over-end”;
- x) Centrifugar a 10.000 rpm por **10** min. e descartar o sobrenadante;
- m) Por fim o centrifugado obtido após a última centrifugação consiste na fração da parede celular dita também biomassa não estrutural (SBM);
- n) A SBM é seca por 12 horas a 80°C, pesada e utilizada para a análise da lignina e da celulose.

A diferença de peso obtido fornece a fração vegetal solúvel em água e álcool definido como sólido solúvel (SS).

Observações:

Material Vegetal – folha e caule picados são misturados e após são secos em estufa a 80°C por três dias e moídos em um moinho fino até ficar em partículas finas como (0,02 mm).

Deve-se pesar os tubos Falcons antes de iniciar o procedimento de extração.

PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS

1. Pesar e anotar ± 30 mg de SBM, em um tubo de vidro com tampa;
2. Adicionar 350 microlitros de H_2SO_4 72%;
3. Incubar tudo a 30°C por 1 hora (Hidrólise primária);
4. Completar o volume para 10 ml com H_2O destilada (com 9,65 ml de água destilada);
5. Mistura em um agitador tipo vortex por 20 segundos;
6. Incubada a 100°C por 4 horas (Hidrólise secundária);
7. Filtrar o sobrenadante em filtro de celulose degenerada em sistema de filtro tipo Kitassato de vidro Pirex (500 ml) com funil (Nalgene – 250 ml) para filtração a vácuo;
8. Secar o filtro em estufa (65°C) pesar e anotar.

A fração de celulose, perdida durante a hidrólise é obtida pela diferença do peso final do filtro e a soma do peso inicial e dos 30 mg de SBM digerido.

$$Fc = Pif + (\text{aproximadamente } 30 \text{ mg}) - Pff$$

Fc: fração de celulose; *Pff*: peso final do filtro; *Pif*: peso inicial do filtro, aproximadamente 30 mg.

Observações:

Durante a fase de hidrólise primária assegurar que toda a SBM esteja imersa no ácido, em caso contrário mover com uma agulha fina para imergir tudo no ácido.

Durante a filtração do hidrolisado, garantir que toda a parte sólida seja depositada no filtro.

Prender o sistema filtrante garantindo que a parte da lignina não permaneça aderida a parede interna do sistema.

Estequiometria:

Valores em mg de dois componentes da parede celular

*Celulose = peso do filtro limpo +
aproximadamente 30 mg SBM – filtro no fim da análise.*

*Lignina = peso do filtro no fim da análise –
peso do filtro limpo.*